

Afvoervoorspellingen voor de Rijn bij Lobith

Nota 67

J.R.Moll

Landbouwhogeschool Wageningen, 1984

Vakgroep Hydraulica & Afvoerhydrologie

SAMENVATTING

Het toepassen van technieken uit de stochastische systeemtheorie en tijdreeksenanalyse biedt perspectief binnen de hydrologie. In deze nota wordt dit uitgewerkt voor een afvoervoorspellingsstudie. Het uitbreiden van een deterministisch hydrologisch model voor het voorspellen van afvoeren van de Rijn bij Lobith met een stochastische komponent levert een duidelijke verbetering van de kwaliteit van de voorspellingen op.

SUMMARY

The application of methods from the field of stochastic systems theory and time series analysis within the field of hydrology offers good perspectives. In these notes, this is worked out in a case-study on flow forecasting. The extension of a deterministic hydrological model for the forecasting of Rhine flows at Lobith with a stochastic component results in a clear improvement in the quality of the forecasts.

INHOUDSOPGAVE

	<u>pagina:</u>
1. INLEIDING EN DOELSTELLING	3
2. UITWERKING PROBLEEMSTELLING; BESCHRIJVING GEVOLGDE AANPAK	5
2.1 Hoogwatergolven	5
2.2 Afvoervoorspellingen	7
2.3 Stroomgebied	10
2.4 Data	11
2.5 Gekozen methode	11
3. DETERMINISTISCH HYDROLOGISCH MODEL VOOR HOOGWATERGOLVEN	13
3.1 Modellerings	13
3.2 Numeriek schema	13
3.3 Randvoorwaarden	14
3.4 Resultaten	15
4. STOCHASTISCH VOORSPELLINGSMODEL	17
4.1 Inleiding	17
4.2 ARIMA-modellen	18
4.3 Resultaten	19
5. OVERZICHT VAN DE RESULTATEN	21
5.1 Voorspellingen van de toevoer in Bonn	21
5.2 Sectie 3: Bonn-Dusseldorf	21
5.3 Sectie 2: Dusseldorf-Wesel	23
5.4 Sectie 1: Wesel-Lobith	25
6. CONCLUSIES EN DISCUSSIE	28
LITERATUUROPGAVE	30
APPENDICES - 1. Benedenstroomse randvoorwaarde	32
2. Computerprogramma's	34

1. INLEIDING EN DOELSTELLING

Het voorspellen van rivierafvoeren is een onderwerp uit de afvoerhydrologie dat zich altijd in een ruime belangstelling heeft mogen verheugen. Deze belangstelling komt zowel voort uit de samenleving, waar uiteenlopende sectoren (landbouw, scheepvaart, drinkwatervoorziening, etc.) belang hebben bij het afvoergedrag van een rivier, als uit de ontwikkeling van de wetenschap, waar met steeds nieuwe methoden de voorspellingen van dit afvoergedrag verbeterd worden.

Een ontwikkeling waar hier nader op ingegaan zal worden is de in de tweede helft van de zeventiger jaren gestarte introductie van technieken uit de stochastische systeemtheorie en de tijdreeksenanalyse op het onderwerp rivierafvoerspellingen (O'Connell, 1980).

Deze technieken kwamen in de plaats van (Ambrus, 1980) of als uitbreiding op (Gutknecht en Kirnbauer, 1976) de al langer toegepaste hydraulische- (Henderson, 1966), hydrologische- (Dooze, 1973) en statistische (De Ronde, 1984) methoden voor hoogwatergolfvoorspelling.

Aangezien de genoemde nieuwe technieken ook toepassingsperspectief lijken te bieden op andere terreinen van de hydrologie (Chiu, 1978; Beck en Van Straten, 1983) leek het zinvol een evaluatie van een aantal ervan uit te voeren in een case-study. Hiervoor is gekozen voor het voorspellen van de afvoer van de Rijn bij Lobith. Dit heeft al eerder tot de vakgroepsactiviteiten behoord (De Moor en Frenken, 1980; Van Bodegom, 1983). Bovendien is het vergelijken van de resultaten van deze case-study met die van het statistisch afvoerspellingsmodel van Rijkswaterstaat (De Ronde, 1984) interessant.

De indeling van deze nota is als volgt:

Hoofdstuk 2 bevat een uitwerking van de probleemstelling en een beschrijving van de gevolgde aanpak.

Hoofdstuk 3 bevat het deterministisch hydrologisch model voor hoogwatergolfberekeningen en een beschrijving van het numerieke oplossingsschema. Ook zijn resultaten opgenomen, verkregen met deze aanpak.

Hoofdstuk 4 opent met een discussie over de verbeteringsmogelijkheden voor het model door uitbreiding ervan met een stochastische term. Deze uitbreiding wordt gemodelleerd als ARIMA-model; resultaten zijn gegeven.

Hoofdstuk 5 bevat een overzicht van alle resultaten en Hoofdstuk 6 conclusies.

2. UITWERKING PROBLEEMSTELLING; BESCHRIJVING GEVOLGDE AANPAK

Na een korte beschouwing over modellen voor hoogwatergolven (2.1) en methoden voor afvoervoorspellingen (2.2) volgt een beschrijving van het stroomgebied (2.3), de data (2.4) en de gekozen methode (2.5).

2.1 Hoogwatergolven

Hoogwatergolven zijn te beschrijven met de basisvergelijkingen voor de geleidelijk veranderende, niet-permanente beweging in een open prismatisch kanaal met breed rechthoekig dwarsprofiel (St. Venant, 1871):

$$\frac{\partial y}{\partial t} + y \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial y}{\partial x} = i \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{u^2}{2g} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f - \frac{i}{gy} (u - u_i) \quad (2.2)$$

met:

- y = waterdiepte
- i = zijdelingse toevoer per opp. eenheid van de waterspiegel
- S_f = wrijvingsverhang
- S₀ = bodemverhang
- u = gemiddelde stroomsnelheid in een dwarsdoorsnede van de leiding
- g = zwaartekrachtsversnelling
- u_i = gemiddelde stroomsnelheid in de toevoer in de lengterichting van de leiding

Belangrijke veronderstellingen bij de afleiding van de vergelijkingen zijn:

- de snelheidsverdeling door een dwarsdoorsnede van de leiding is gelijk aan die bij uniforme stroming
- er heerst een hydrostatische drukverdeling.

Het doorrekenen van hoogwatergolven met de vergelijkingen (2.1) en (2.2) wordt wel de hydraulische benadering genoemd. Aangezien deze aanpak vrij bewerkelijk is zijn er in de praktijk een aantal "hydrologische" methoden ontwikkeld voor hoogwatergolfberekening, zoals de Kalinin-Milyukov cascade (Kalinin-Milyukov, 1957) en de Muskingum-methode (Mc Carthy, 1939).

Een vereenvoudiging is ook te verkrijgen door in (2.2) de versnellings termen $(\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t}$ en $\frac{\partial}{\partial x} \frac{u^2}{2g})$ en de zijdelingse toevoer te verwaarlozen. Het stelsel {(2.1), (2.2)} is dan te herleiden tot:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} - D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (2.3)$$

waarin

$$c = \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial y} \quad (2.4)$$

$$D = \frac{Q}{2B [S_0 - \frac{\partial y}{\partial x}]} \quad (2.5)$$

B = waterspiegelbreedte.

Formule (2.3) staat bekend als het convectie-diffusie model, of de diffusie-analogie. De twee parameters van het model (c = celerity, golfvoortplantingssnelheid; D = diffusieparameter) kunnen ofwel constant worden beschouwd, ofwel variërend tijdens passage van een golf volgens (2.4) en (2.5) (NERC, 1975).

In deze nota wordt vergelijking (2.3) toegepast met constante waarden voor de parameters c en D.

2.2 Afvoervoorspellingen

In de hydrologie onderscheidt men twee soorten afvoervoorspellingen, nl. 'prediction': het doen van uitspraken over kans van optreden van bepaalde afvoeren op lange termijn, en 'forecasting': het voorspellen van de op korte termijn te verwachten afvoer. Deze nota richt zich op 'forecasting' methoden.

Bij deze vorm van voorspellen is dus het doel een uitspraak te doen over het komende afvoerverloop aan het benedenstrooms eind van een stroomgebied of rivierpand. Het voorspellen bestaat dan uit drie onderdelen:

1. Het schatten van de positie en grootte van de afvoergolf in het stroomgebied op dit moment (de 'toestand');
2. Het voorspellen van de toevoer en neerslag tijdens de voorspellingstermijn (de 'inputs');
3. Het doorrekenen van de verplaatsing en vervorming van de golf gedurende de voorspellingstermijn ('routing').

Dit wordt geïllustreerd in Fig. 2.1.

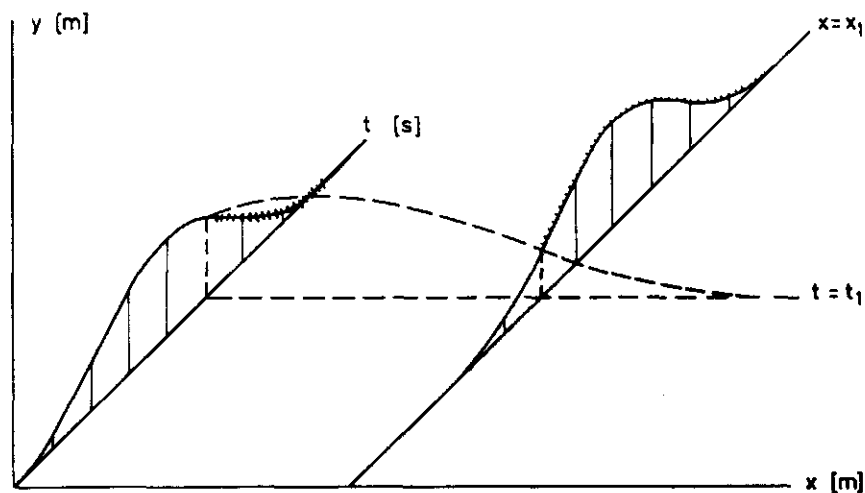


Fig. 2.1. De drie onderdelen van een hoogwatergolfvoorspelling: toestandschatting (---), inputvoorspelling (+++++) en routing (~~~~~).

Aangezien het onmogelijk is de toekomst altijd perfect te voorspellen is het van belang aan te geven welke voorspellingen 'goed' zijn en welke 'slecht', m.a.w. welk criterium gekozen wordt voor de kwaliteit van de voorspellingen.

Vele criteria zijn mogelijk:

A. Criteria betrekking hebbende op de top van de golf

1. juiste tophoogte
2. juiste tijdstip van de top
3. geen onderschattingen van de top

B. Criteria betrekking hebbende op de duur en het volume van de golf

4. juiste duur
5. juist volume
6. juist tijdstip voor het begin van een golf

C. Criteria betrekking hebbende op het totale afvoerverloop

7. minimum variantie voor de voorspelfouten
8. geen autocorrelatie in de voorspelfouten
9. geen grote fouten.

Sommige criteria zijn strijdig (bijv. 3 en 8), m.a.w. het is van belang een duidelijke keuze te maken. In deze studie zijn de modellen geoptimaliseerd naar de criteria 7 en 8.

Een belangrijk aspect van afvoervoorspellingen is altijd het 'real-time' effect: alle stappen in de voorspellingsprocedure moeten snel doorlopen worden willen er eventueel nog maatregelen kunnen worden genomen bij op handen zijnd hoogwater. De verschillende stappen in de procedure zijn weergegeven in Fig. 2.2.

1. METEN



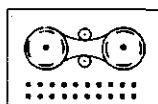
PEILSCHAAL

2. DOORGEVEN



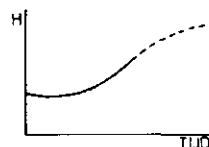
TELEFOON

3. VERWERKEN

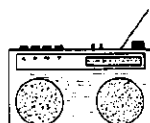


COMPUTER

4. VOORSPELLEN



5. BERICHTGEVING



RADIO

6. MAATREGELEN



ZAND

Fig. 2.2. Stappen in een afvoervoorspellingsprocedure.

Een consequentie van de aanwezige tijdsdruk is dat er weinig tijd is voor het verzamelen van meetgegevens. Voorspellingsmodellen hebben in de regel dan ook maar een beperkt aantal data on-line nodig:

metingen van afvoeren of waterstanden bovenstrooms in het stroomgebied, en eventueel neerslagmetingen.

2.3 Stroomgebied

Het stroomgebied van de Rijn bovenstrooms van Lobith heeft een oppervlakte van 160.800 km². Het gedeelte dat is weergegeven in Fig. 2.3 is van belang voor het opstellen van afvoervoorspellingen te Lobith één dag vooruit. De reistijd van hoogwatergolven op het traject Bonn-Lobith is $\pm 1\frac{1}{2}$ dag.

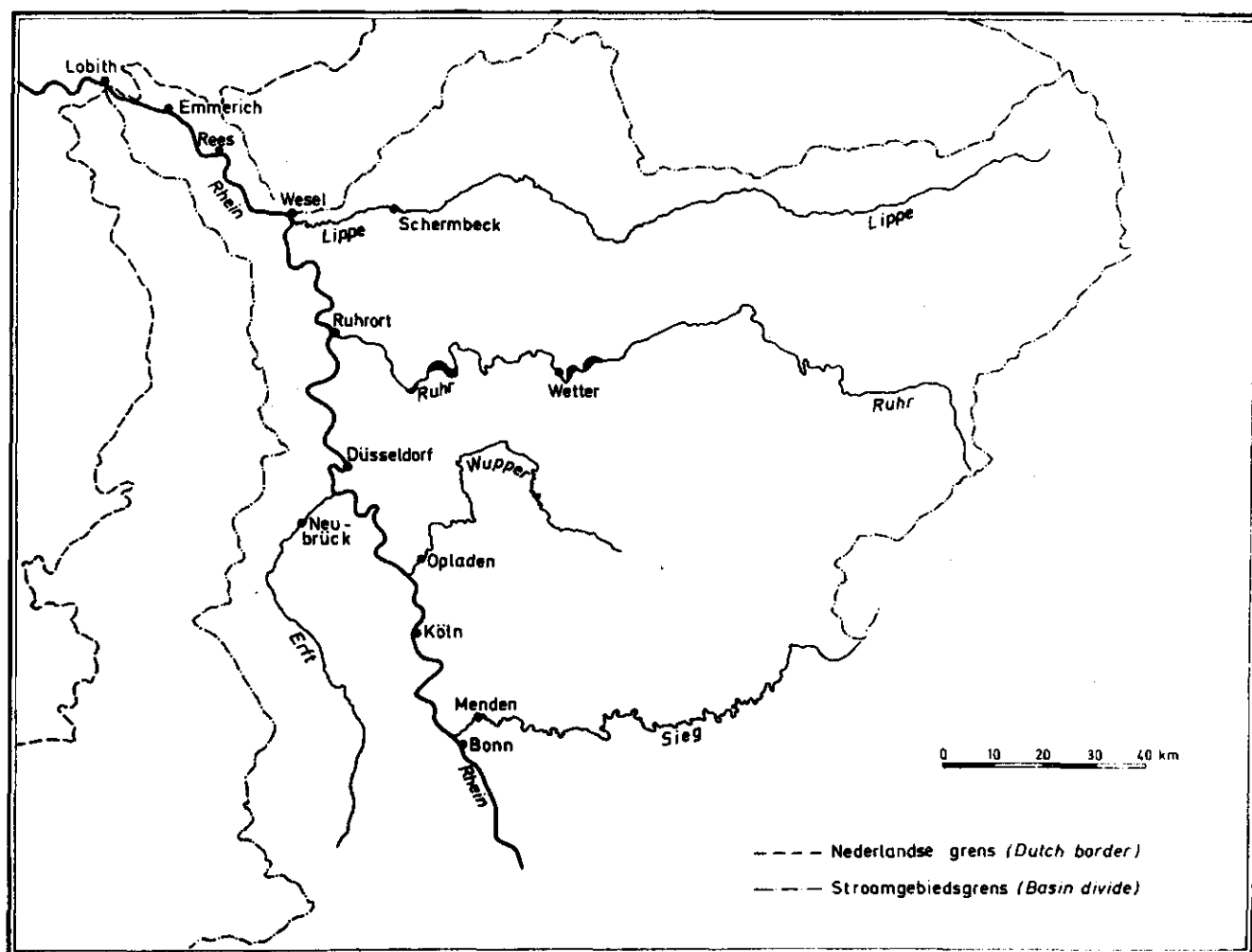


Fig. 2.3. Stroomgebied van de Rijn bovenstrooms van Lobith.

De Rijn is een zgn. gemengde rivier: de afvoer is deels afkomstig van smeltwater van sneeuw en gletsjers in Zwitserland, deels van regenwater.

Hoogwatergolven treden meestal op aan het eind van de winterperiode, als er veel sneeuwsmelafvoer is. In het voorjaar van 1983 bleek de langdurige regen alleen voldoende voor het veroorzaken van hoogwaters.

2.4 Data

In deze case-study is gebruik gemaakt van afvoercijfers van de meetstations aangegeven in Fig. 2.3. Deze afvoercijfers zijn afgeleid van de originele peilschrijverregistraties, januari-maart 1970. Voor het afleiden van de debieten uit de waterstanden is gebruik gemaakt van op 1 november 1969 geijkte Q/H-relaties en een correctie m.b.v. de formule van Jones (Henderson, 1966):

$$Q = Q_0 \left(1 + \frac{1}{S_0 c} \frac{\partial y}{\partial t} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

y = waterdiepte

S₀ = bodemverhang

c = golfvoortplantingssnelheid

Q₀ = debiet volgens Q/H-curve

Q = gecorrigeerde debiet

De gegevens van Lobith zijn afkomstig van Rijkswaterstaat, Directie Waterbeweging & Waterhuishouding, Den Haag en de gegevens van de Duitse stations van de Wasser und Schiffahrtssdirektion West, Münster.

Helaas bleken de data niet consistent: een massabalans Wesel-Lobith wees op negatieve laterale toevoer op dit traject. Andere massabalansen ter controle wezen uit dat de Duitse gegevens systematisch hoger waren dan de Nederlandse. In de volgende paragraaf wordt aangegeven hoe dit opgevangen is in de berekeningen.

2.5 Gekozen methode

Daar het gebruik van de St. Venant vergelijkingen te veel data zou vragen is gekozen voor het convectie-diffusiemodel (2.3) als flood-routing methode. Hierbij zijn de parameters c en D constant verondersteld. Voor het beschrijven van c als c(Q) (NERC,

1975), zijn gegevens van veel hoogwatergolven nodig ter calibratie. Deze zijn echter niet in voldoende mate aanwezig, waardoor ook van het opstellen van een $D(Q)$ -curve is afgezien.

Een benedenstroomse afvoer is d.m.v. een impulsresponsie of unit hydrograph voor een deel te 'verklaren' (causaal te relateren) aan de bovenstroomse toevoer. We duiden dit deel aan als de 'deterministische' afvoer. Het andere deel is toe te schrijven aan de beperkingen van het causale model ('modelfout'), aan meetfouten en voorts aan het toeval. Deze drie effecten kunnen worden samengenomen in één stochastische term. Daarmee krijgen we de vergelijking:

$$Q(t) = Q_1(t) + N(t) \quad (2.7)$$

$Q(t)$ = afvoer

$Q_1(t)$ = 'deterministische' afvoer

$N(t)$ = 'stochastische' afvoer.

Het is in principe mogelijk de tijdreeks, gevormd door de 'stochastische' afvoeren te analyseren en modelleren, teneinde voorspellingen te kunnen maken voor deze term in vergelijking (2.7). Bij het uitvoeren van modelvereenvoudigingen zoals bijv. het constant veronderstellen van de parameters c en D in het convectie-diffusie model, kan het zijn dat het causaal te verklaren deel van de afvoer kleiner wordt, maar dat dit gedeeltelijk gecompenseerd wordt door een toename van structuur in het stochastische deel.

Deze overweging heeft ertoe geleid het constante-parameter convectie-diffusie model als deterministisch flood-routing model te accepteren, en de verbeteringen te onderzoeken die hierop mogelijk zijn door dit model uit te breiden met een stochastische term.

3. DETERMINISTISCH HYDROLOGISCH MODEL VOOR HOOGWATERGOLVEN

3.1 Modellering

Het riviertraject Bonn-Lobith is onderverdeeld in drie secties: Bonn - Dusseldorf (sectie 3), Dusseldorf - Wesel (sectie 2) en Wesel - Lobith (sectie 1). Per sectie zijn hoogwatergolven doorerekend, rekening houdend met de toevoer uit de zijrivieren Sieg, Wupper, Erft, Ruhr en Lippe. Het numeriek rekenschema dat gebruikt is wordt in de volgende paragrafen nader uitgewerkt. De parameters c en D van het convectie-diffusie model (2.3) zijn per sectie geïdentificeerd met de kleinste kwadratenmethode. De bovenstroomse toevoer is voorspeld m.b.v. een ARIMA-model, zie hiervoor paragraaf 4.2.

3.2 Numeriek schema

Voor het oplossen van de partiële differentiaalvergelijking (2.3) kan men gebruik maken van een eindige-differentie benadering. Men verdeelt de lengte-as van de riviersectie in stapjes Δx , de tijd-as in stapjes Δt , en definieert op dit plaats-tijd rooster de differentiequotienten die de plaats van de differentiaalquotienten innemen in vergelijking (2.3). Dit kan op verschillende manieren gebeuren; hier is gekozen voor het zgn. Stone & Brian schema (zie bijv. Moll, 1982):

$$Q_{m-1}^{n+1} (1/6 - \frac{1}{2} \theta \sigma - \theta \lambda) + Q_m^{n+1} (2/3 + 2\theta \lambda) + Q_{m+1}^{n+1} (1/6 + \frac{1}{2} \theta \sigma - \theta \lambda) =$$

$$Q_{m-1}^n [1/6 + (1 - \theta) (\frac{1}{2} \sigma + \lambda)] + Q_m^n [2/3 - 2(1-\theta)\lambda] + Q_{m+1}^n [1/6 +$$

$$(1 - \theta) (-\frac{1}{2} \sigma + \lambda)] \quad (3.1)$$

m = plaatsindex

n = tijdsindex

θ = weegfactor

$$\sigma = c\Delta t/\Delta x \quad \text{Courantgetal}$$

$$\lambda = D\Delta t/(\Delta x)^2 \quad \text{Diffusieparameter}$$

Voor een keuze $\theta = 0,5$ heeft dit schema 2^e orde nauwkeurigheid. Dit gaat evenwel gepaard met marginale stabiliteit. Simulaties gaven aan dat een keuze $\theta = 0,55$ (1^e orde nauwkeurigheid) voor deze case-study te verkiezen was. De gekozen tijd- en plaatsstap zijn resp. 2 uur en 12 km. voor sectie 1, 2 uur en 11,7 km voor sectie 2, en 2 uur en 11,2 km voor sectie 3.

3.3 Randvoorwaarden

Voor het uitvoeren van berekeningen met dit schema zijn twee randvoorwaarden nodig. De bovenstroomse rand wordt voorspeld volgens de procedures uit paragraaf 4.2, maar de benedenstroomse rand moet nu juist door het rekenschema voorspeld worden! De gevolgde aanpak is: allereerst is het rekenrooster kunstmatig verlengd in benedenstroomse richting, waardoor de voor het rekenschema benodigde rand niet meer samenviel met de door het schema te voorspellen rand, zie Fig. 3.1;

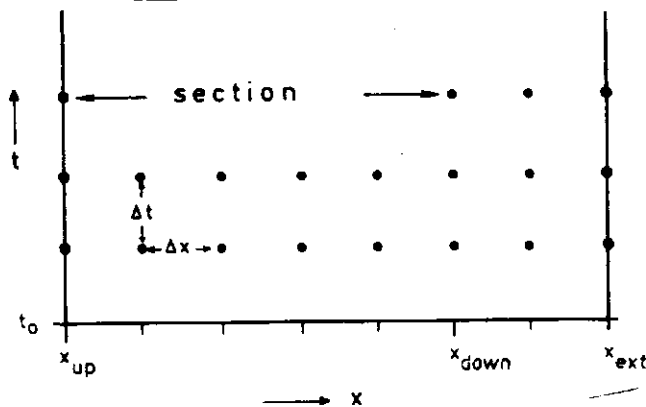


Fig. 3.1. Rekenrooster met randvoorwaarden.

vervolgens is de nu gecontrueerde benedenstroomse rand zo goed mogelijk geschat door een expliciet schema:

$$\begin{aligned}
 Q_m^{n+1} = & Q_m^n \left(\frac{(m\Delta x - c\Delta t)^2 + 2D\Delta t}{2(\Delta x)^2} + \frac{(3-2m)(m\Delta x - c\Delta t)}{2\Delta x} + \frac{1}{2}(m-1)(m-2) \right) \\
 & + Q_{m-1}^n \left(-\frac{(m\Delta x - c\Delta t)^2 + 2D\Delta t}{(\Delta x)^2} + \frac{4(m-1)(m\Delta x - c\Delta t)}{2\Delta x} - m(m-2) \right) \\
 & + Q_{m-2}^n \left(\frac{(m\Delta x - c\Delta t)^2 + 2D\Delta t}{2(\Delta x)^2} + \frac{(1-2m)(m\Delta x - c\Delta t)}{2\Delta x} + \frac{1}{2}m(m-1) \right) \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

Dit schema wordt afgeleid in Appendix 1.

3.4 Resultaten

Calibratie van de parameters c en D gaf de volgende resultaten:

sectie 1: $c = 1,1$ m/sec. , $D = 40.000$ m²/sec.

sectie 2: $c = 2,1$ m/sec. , $D = 10.000$ m²/sec.

sectie 3: $c = 2,2$ m/sec. , $D = 25.000$ m²/sec.

Karakteristieken van de voorspellingen voor Lobith 12 uur vooruit zijn opgenomen in Tabel I.

Tabel I: Karakteristieken van de 12-uurs voorspellingen te Lobith verkregen met het deterministisch flood-routing model.

hoogte van de top	101,5 m ³ /sec te hoog
tijdstip van de top	correct
grootste fout	442 m ³ /sec
gemiddelde fout	116 m ³ /sec
standaardafwijking van de fouten	64 m ³ /sec

De stochastische structuur van de reeks van voorspelfouten komt tot uitdrukking in het autocorrelogram hiervan, zie Fig. 3.2.

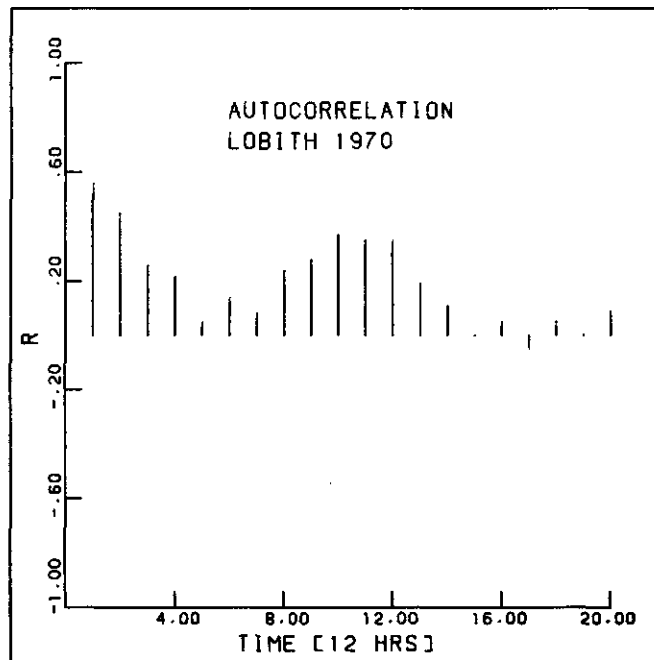


Fig. 3.2: Autocorrelogram voorspelfouten Lobith.

De orde-grootte van de grootste fout (zie Tabel I) geeft aan dat de methode geen acceptable resultaten produceert. De systematische overschatting (gemiddelde fout) is te verklaren uit de inkonsistentie van de meetgegevens, zie paragraaf 2.4. Een standaardafwijking van $64 \text{ m}^3/\text{sec}$ in de afvoer correspondeert met een standaardafwijking van $\pm 5 \text{ cm}$ in de waterhoogte.

De duidelijke aanwezigheid van een autocorrelatiestructuur is de reeks van voorspelfouten wijst op een mogelijkheid de voorspellingen te verbeteren. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk ingegaan.

4. STOCHASTISCH VOORSPELLINGSMODEL

4.1 Inleiding

De beperkingen van het deterministische model zouden kunnen worden toegeschreven aan tekortkomingen in het representeren van de fysica, m.a.w.: het uit de toevoer causaal te verklaren deel van de afvoer is groter te maken door het deterministische model te verfijnen. Een voor de hand liggende verfijning hier is het beschrijven van de parameters c en D als functie van Q . Het model wordt daarmee niet-lineair in Q . Zoals aangegeven in paragraaf 2.5 zijn er onvoldoende gegevens beschikbaar om deze $c(Q)$ en $D(Q)$ curves vast te stellen.

Een poging om dit bijvoorbeeld m.b.v. een extended Kalman filter (EKF) (Jazwinsky, 1970) toch te doen lijkt hachelijk. Bij toepassing van het EKF worden de parameterwaarden tijdens het doorrekenen van het proces steeds aangepast op grond van de recentste voorspelfouten.

In plaats van te proberen om de gesignaleerde structuur in de reeks van voorspelfouten te vertalen in een verfijning van de beschrijving van de fysica, kan ook getracht worden deze structuur onder te brengen in een stochastisch model. Een eerste mogelijkheid hiervoor is de volgende:

De voorspelling verkregen uit het deterministisch model wordt opgevat als voorlopige voorspelling Q_1 , waaruit de definitieve voorspelling, Q , berekend wordt volgens:

$$Q(t) = X_1(t) + X_2(t) Q_1(t) \quad (4.1)$$

De variabele $\underline{X}(t) = [X_1(t), X_2(t)]$ wordt steeds aangepast op grond van de recentste voorspelfouten d.m.v. een Kalman filter. Deze aanpak is uitgewerkt in Moll (1984).

Een tweede mogelijkheid bestaat eruit de deterministische voorspelling $Q_1(t)$ te corrigeren met een stochastisch model $N(t)$ volgens:

$$Q(t) = Q_1(t) + N(t) \quad (4.2)$$

De term $N(t)$ in deze vergelijking bestaat uit een functie van de voorafgaande voorspelfouten, en een zuivere toevalsterm.

Deze methode wordt nu nader uitgewerkt.

4.2 ARIMA-modellen

Univariate tijdreeksen, zoals afvoerreksen, zijn met de in Box & Jenkins (1970) beschreven technieken te modelleren als ARIMA (auto regressive integrated moving average)-model. De tijdsvertragingoperator B wordt gedefinieerd door:

$$Bx_t = x_{t-1} \quad (4.3)$$

Een polynoom in B wordt genoteerd als:

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_n B^n \quad (4.4)$$

Een algemene schrijfwijze voor een ARIMA - (p, d, q) model is dan:

$$\phi(B) (1-B)^d x_t = \theta(B) a_t \quad (4.5)$$

met:

- x_t = de tijdreeks
- d = een witte ruisreeks
- $\phi(B)$ = een polynoom in B van orde p
- $\theta(B)$ = een polynoom in B van orde q

Een voorbeeld van een eenvoudig ARIMA-model is het (1,0,0)-model

$$x_t - \phi_1 x_{t-1} = a_t \quad (4.6)$$

dat in de hydrologie ook wel als Markov-1 model wordt aangeduid.

Voor het identificeren van de structuur van een ARIMA-model (de waarden van p , d en q) en het schatten van de parameterwaarden $(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \theta_1, \dots, \theta_q)$ is de door Box & Jenkins (1970) aangegeven weg (correlogram-analyse, max. likelihood-schatting) gevolgd, zowel voor het modelleren van de toevoerreeks t.b.v. inputvoorspellingen als voor het modelleren van de reeks van voorspelfouten t.b.v. voorspellingsverbeteringen.

Een controle op de correctheid van de gevonden modellen bestaat uit het inspecteren van het autocorrelogram van het residu-proces a_t . Dit correlogram mag geen significante waarden bevatten.

4.3 Resultaten

Analyse van de reeks van voorspelfouten beschreven in paragraaf 3.4 leidde tot het ARIMA-model

$$(1 - \phi_1 B^2 - \phi_2 B^4) N_t = a_t - 39.6 \quad (4.7)$$

met: $\phi_1 = .48$
 $\phi_2 = .18$
 $\sigma_a = 51 \text{ m}^3/\text{sec}$

Zie voor de resulterende voorspellingen voor Lobith 12 uur vooruit Tabel II en Fig. 4.1.

Tabel II: Karakteristieken van de 12-uurs voorspelling te Lobith verkregen met een deterministisch model uitgebreid met een ARIMA-model.

hoogte van de top	77 m ³ /sec te hoog
tijdstip van de top	correct
grootste fout	201 m ³ /sec
gemiddelde fout	0 m ³ /sec
standaard afwijking	5.1 m ³ /sec

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

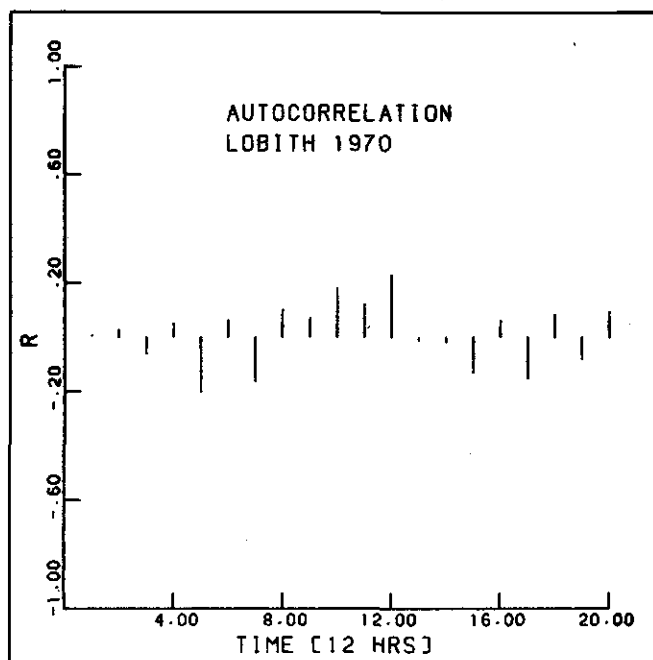


Fig. 4.1 Autocorrelogram van de voorspelfouten.

Vergelijking van Tabel I en Tabel II wijst uit dat de uitbreiding van het deterministisch voorspellingsmodel met een ARIMA-model een verbetering van de voorspellingen oplevert. Vergelijking van de autocorrelogrammen (Fig. 3.2 en Fig. 4.1) laat zien dat het stochastisch model de autocorrelatie-structuur van de voorspelfouten van het deterministisch model goed beschrijft.

1. The first of these is the fact that the
the second is the fact that the
the third is the fact that the
the fourth is the fact that the
the fifth is the fact that the
the sixth is the fact that the
the seventh is the fact that the
the eighth is the fact that the
the ninth is the fact that the
the tenth is the fact that the

5. RESULTATEN

5.1 Voorspellingen van de toevoer in Bonn

De bovenstroomse toevoeren in Bonn zijn voorspeld m.b.v. de volgende ARIMA-modellen:

- 6 uur vooruit:

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B) (1 - B) Q_t &= a_t & (5.1) \\ \phi_1 &= +.92 \\ \sigma_a &= 49 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

- 12 uur vooruit:

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B^2) (1 - B^2) Q_t &= (1 - \theta_1 B^2) a_t & (5.2) \\ \phi_1 &= .81 \\ \theta_1 &= -.42 \\ \sigma_a &= 132 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

- 18 uur vooruit:

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B^3) (1 - B^3) Q_t &= (1 - \theta_1 B^3) a_t & (5.3) \\ \phi_1 &= .71 \\ \theta_1 &= -.53 \\ \sigma_a &= 224 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

- 24 uur vooruit:

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B^4) (1 - B^4) Q_t &= (1 - \theta_1 B^4) a_t & (5.4) \\ \phi_1 &= .60 \\ \theta_1 &= -.44 \\ \sigma_a &= 369 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

5.2 Sectie 3: Bonn-Dusseldorf

Met de op deze wijze voorspelde toevoeren bij Bonn en het deterministisch flood-routing model zijn voorspellingen te Dusseldorf verkregen.

ARIMA-modellen voor de reeksen van voorspelfouten te Dusseldorf zijn:

- Dusseldorf 12 uur vooruit voorspeld:

$$(1 - \phi_1 B^2) N_t = a_t + 29.7 \quad (5.5)$$

$$\phi_1 = .73$$

$$\sigma_a = 80 \text{ m}^3/\text{sec}$$

- Dusseldorf 24 uur vooruit voorspeld:

$$(1 - \phi_1 B^4) N_t = a_t + 80. \quad (5.6)$$

$$\phi_1 = .18$$

$$\sigma_a = 228 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

De 12-uurs voorspellingen bij Dusseldorf zijn uitgezet tegen de meetwaarden voor de periode die de passage van de hoogste golven bevat in Fig. 5.1.

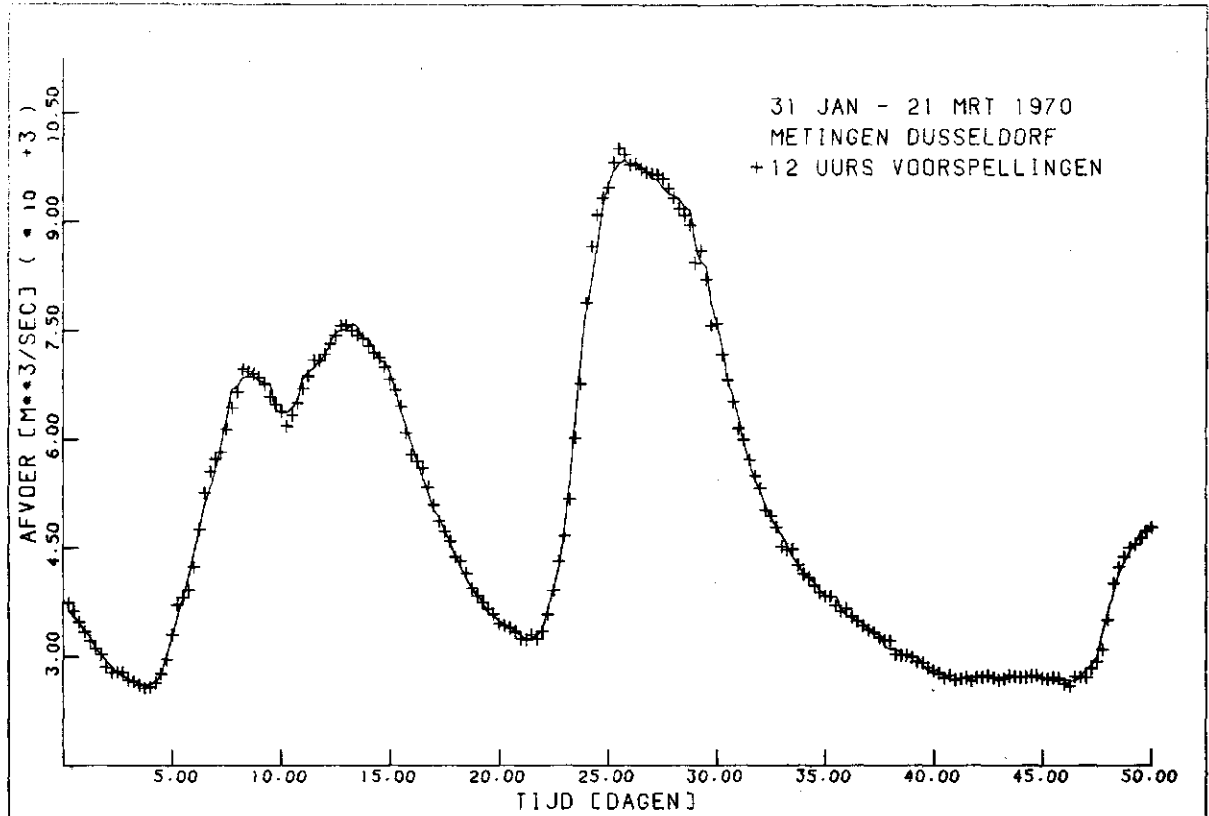


Fig. 5.1: 12-uurs voorspellingen en metingen te Dusseldorf,
31 januari - 21 maart 1970.

De 24-uurs voorspellingen voor dezelfde periode zijn tegen de gemeten afvoeren uitgezet in Fig. 5.2.

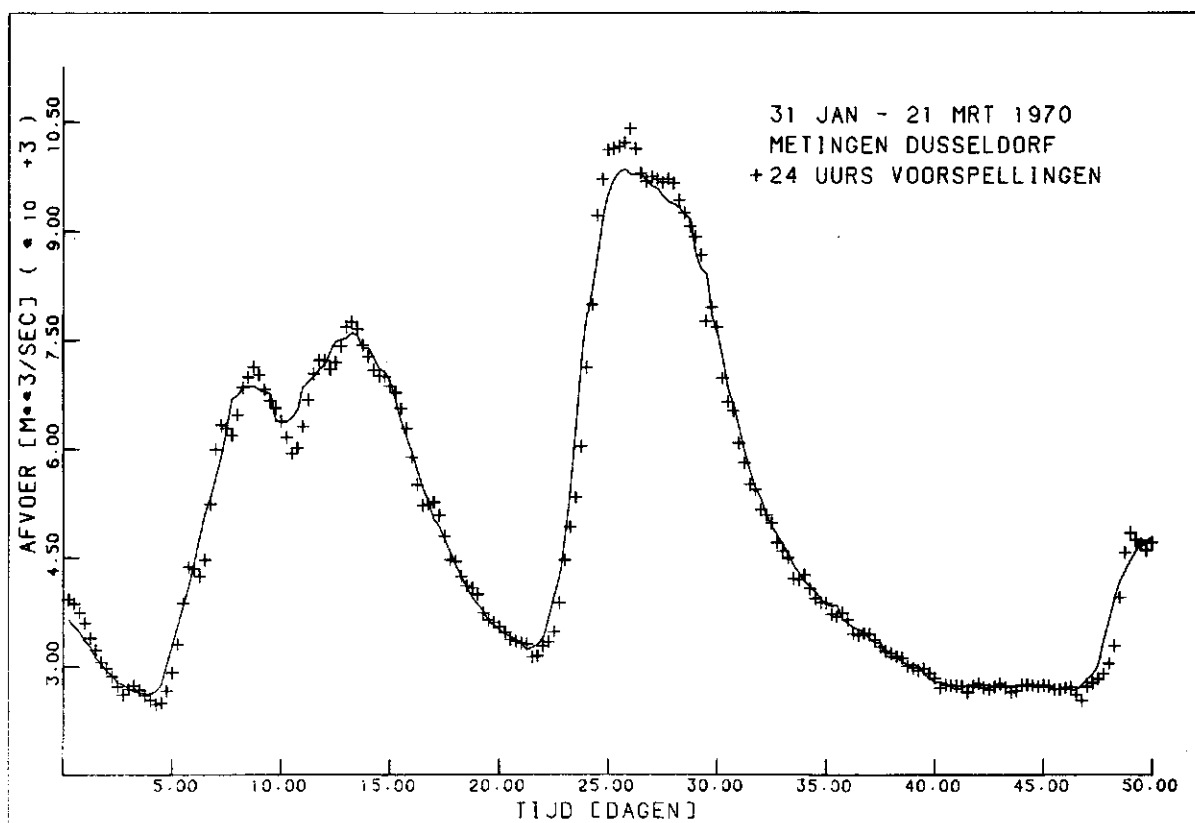


Fig. 5.2: 24-uurs voorspellingen en metingen te Dusseldorf,
31 januari - 21 maart 1970.

5.3 Sectie 2: Dusseldorf-Wesel

De resulterende voorspellingen voor Dusseldorf uit de berekeningen voor sectie 3 zijn gebruikt als toevoervoorspellingen voor sectie 2. Voorspellingen voor Wesel m.b.v. een deterministisch flood-routing model zijn verbeterd m.b.v. de volgende ARIMA-modellen:

- Wesel 12 uur vooruit voorspeld:

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B^2) N_t &= a_t - 1.7 \\ \phi_1 &= .9 \\ \sigma_a &= 80 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned} \quad (5.7)$$

- Wesel 24 uur vooruit voorspeld:

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B^4) N_t &= a_t + 4.8 \\ \phi_1 &= .61 \\ \sigma_a &= 185 \text{ m}^3/\text{sec}. \end{aligned} \quad (5.8)$$

De voorspellingen voor Wesel zijn uitgezet in Fig. 5.3 en Fig. 5.4.

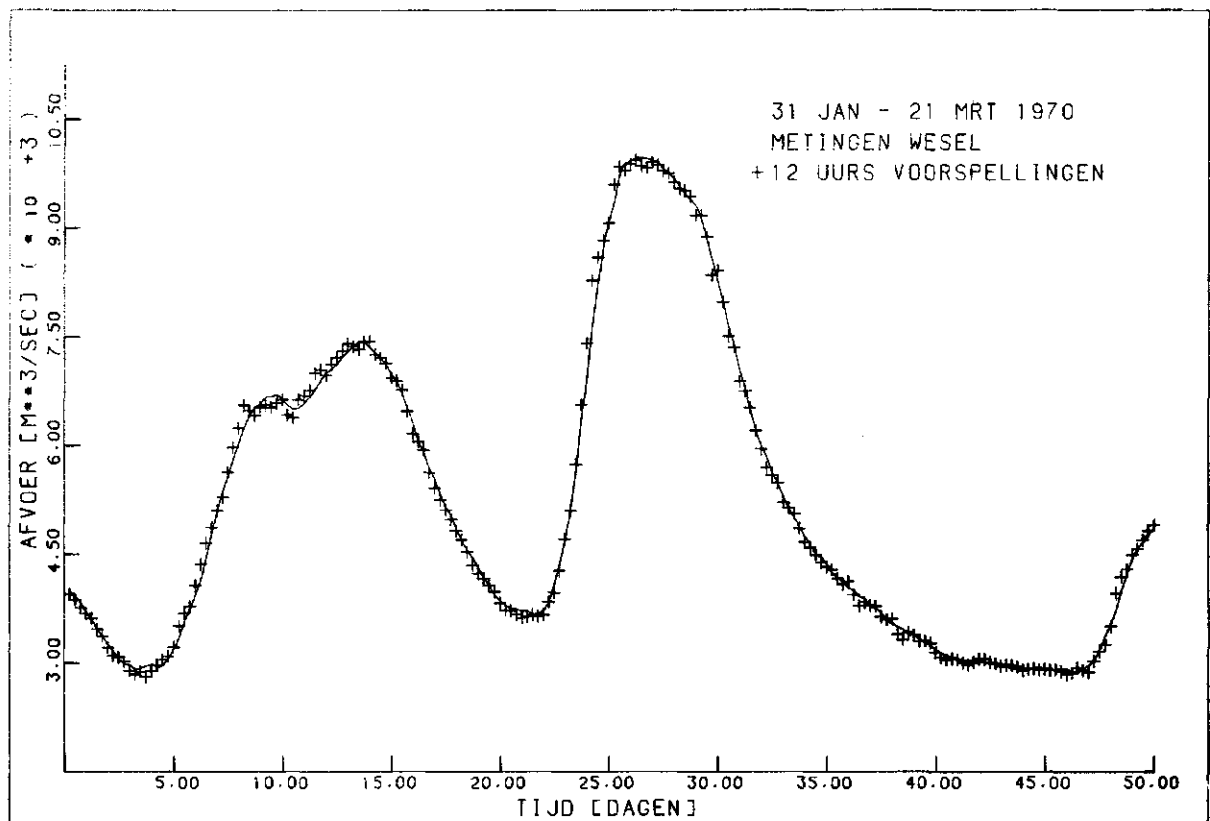


Fig. 5.3: 12-uurs voorspellingen en metingen te Wesel,
31 januari - 21 maart 1970.

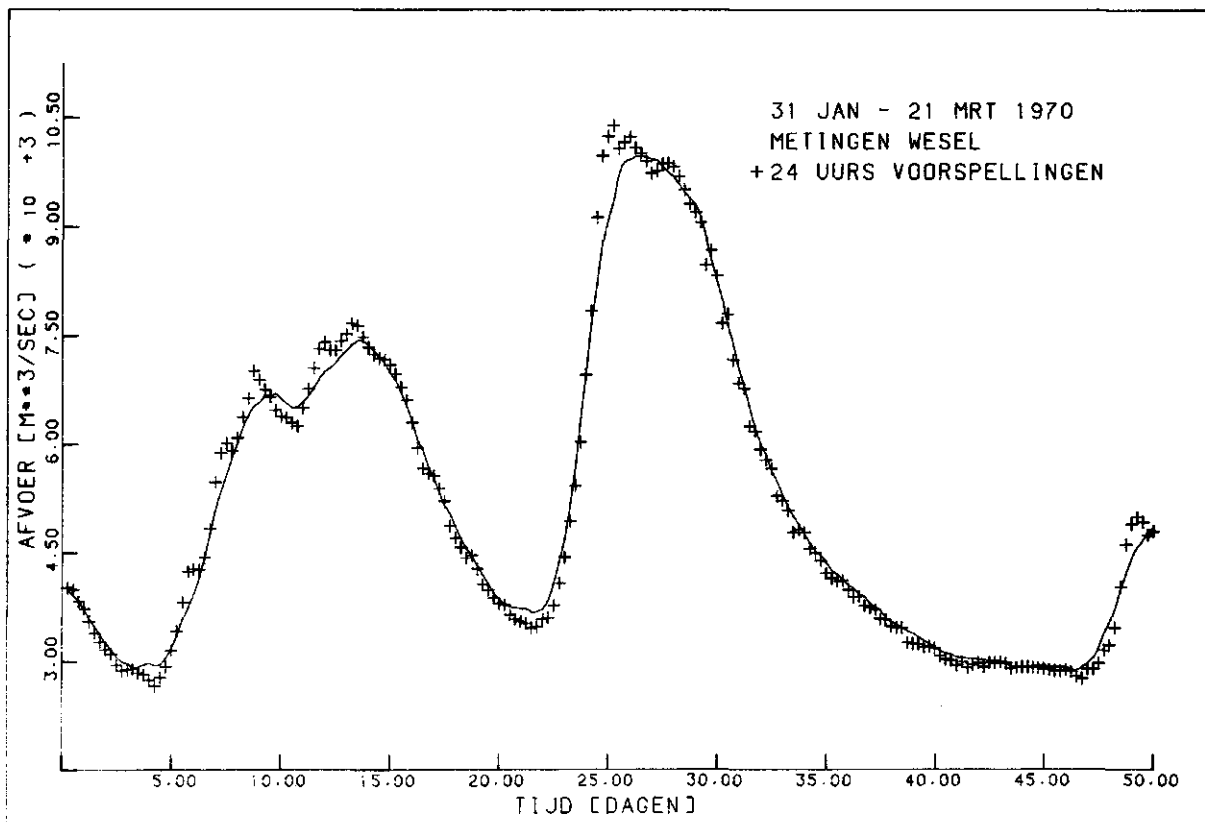


Fig. 5.4: 24-uurs voorspellingen en metingen te Wesel,
31 januari - 21 maart 1970.

5.4 Sectie 1: Wesel-Lobith

De in de vorige paragraaf beschreven voorspellingen voor Wesel vormen de toevoeren voor sectie 1. De voorspellingen voor Lobith m.b.v. het deterministisch flood-routing model zijn verbeterd met een ARIMA-model. Het ARIMA-model voor de 12-uurs voorspellingsverbeteringen is gegeven in paragraaf 4.3. Daar is ook het autocorrelogram van de voorspelfouten te vinden, Fig. 4.1. Voor de 24-uurs voorspellingsverbeteringen is het volgende model gebruikt:

$$\begin{aligned}
 (1 - \phi_1 B^4) N_t &= a_t - 81.7 \\
 \phi_1 &= .27 \\
 \sigma_a &= 122 \text{ m}^3/\text{sec}.
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

Fig. 5.7 is het autocorrelogram van de voorspelfouten.

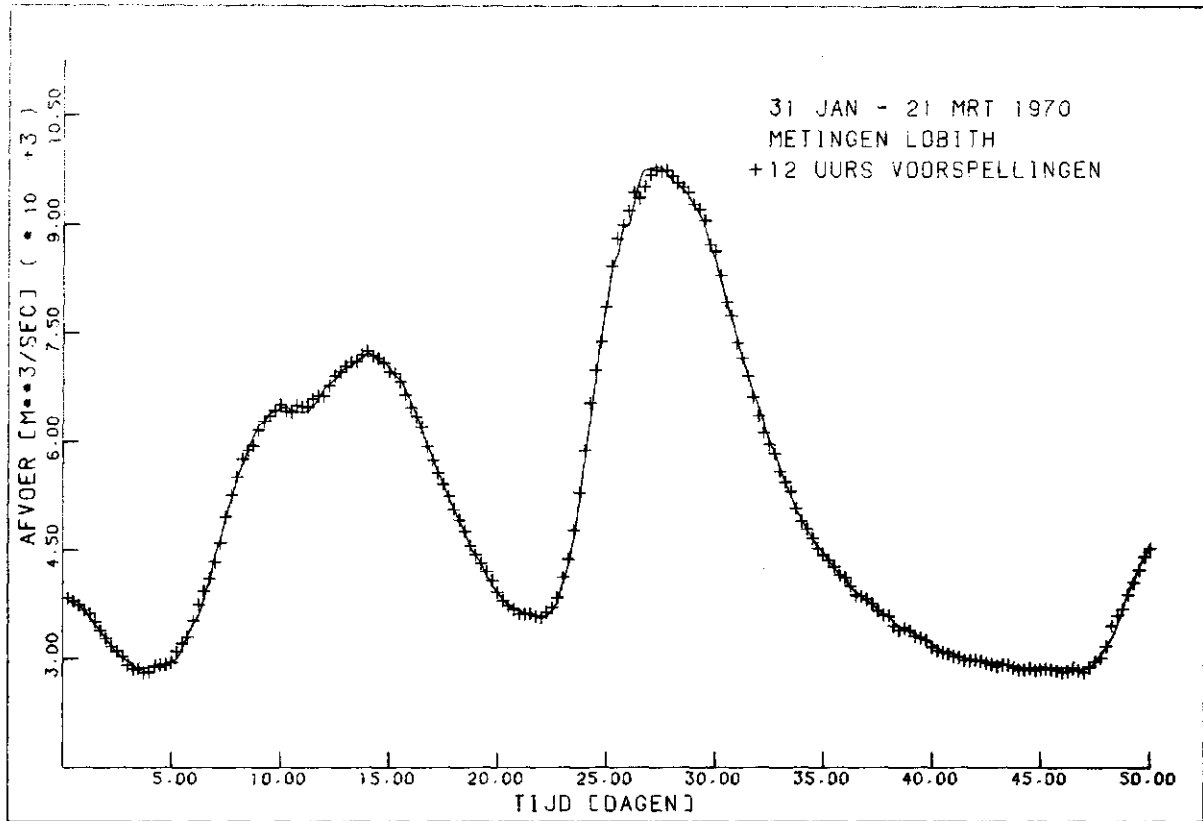


Fig. 5.5: 12-uurs voorspellingen en metingen te Lobith,
31 januari - 21 maart 1970.

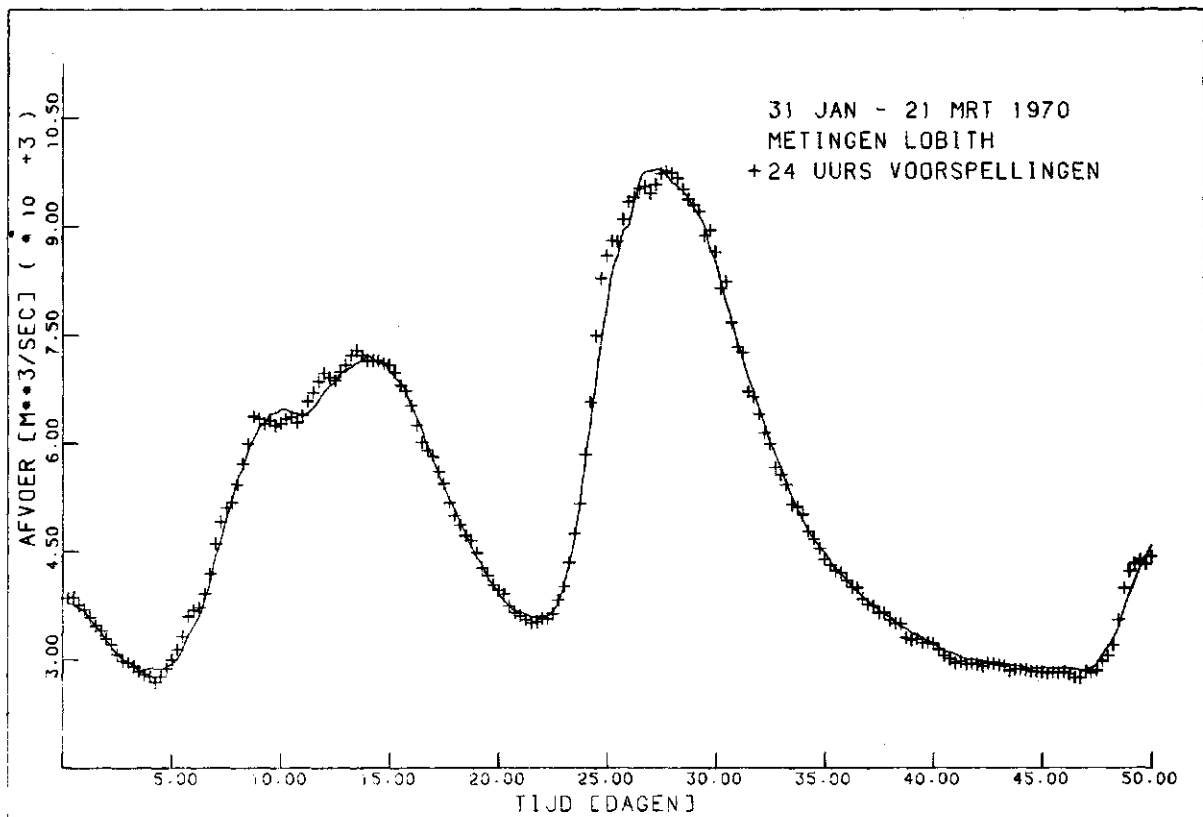


Fig. 5.6: 24-uurs voorspellingen en metingen te Lobith,
31 januari - 21 maart 1970

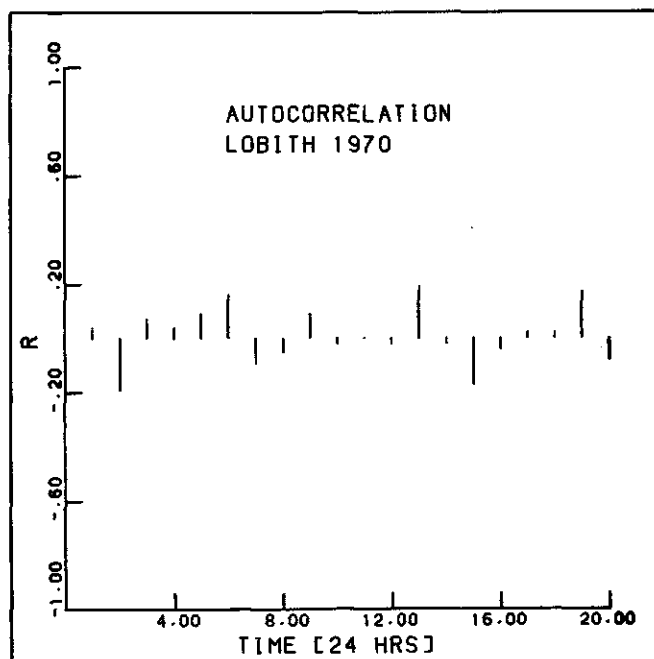


Fig. 5.7: Autocorrelogram van de voorspelfouten, Lobith 24 uur vooruit.

Zie voor een overzicht van de resultaten voor Lobith, Tabel III.

Tabel III: Karakteristieken van de voorspellingen te Lobith verkregen met een deterministisch plus een stochastisch model.

	12 uur vooruit	24 uur vooruit
hoogte van de top	77 m ³ /sec te laag	42 m ³ /sec te laag
Tijdstip van de top	correct	6 uur te laat
grootste fout	201 m ³ /sec	303 m ³ /sec
gemiddelde fout	0 m ³ /sec	0 m ³ /sec
standaardafwijking	51 m ³ /sec	122 m ³ /sec

Vergelijking van de Figuren 5.2, 5.4 en 5.6 wijst erop dat de kwaliteit van de voorspellingen in benedenstroomse richting verbetert. Dit wordt veroorzaakt door de toename van de hoeveelheid informatie. Door stations, verder stroomopwaarts gelegen, in de modellering te betrekken, zijn de voorspellingen voor Wesel en Dusseldorf te verbeteren.

6. CONCLUSIES EN DISCUSSIE

Uit dit onderzoek blijkt dat resultaten, verkregen met een deterministisch hydrologisch model, duidelijk te verbeteren zijn door uitbreiding van dit model met een stochastische component. Soortgelijke prestatieverbeteringen zullen ook in andere hydrologische modelstudies zijn te bereiken als de reeks van voorspelfouten een identificeerbare stochastische structuur heeft.

Op de in deze case-study gevolgde aanpak zijn de volgende punten van kritiek te leveren:

1. Er zijn geen verificatie-testen uitgevoerd met andere data-sets;
2. De geschatte waarden van de modelparameters kunnen verlopen. Er is geen uitspraak gedaan over de betrouwbaarheid van de gevonden waarden.

Bij het gebruik van andere data-sets zullen hoogstwaarschijnlijk de parameters van de modellen iets andere waarden aannemen. Dit is op zich geen bezwaar: deze parameterwaarden zijn op analoge wijze te schatten en daarna voor voorspellingen te gebruiken.

Het bezwaar dat de parameterwaarden niet constant blijven naarmate de tijd voortschrijdt is te ondervangen door de parameters regelmatig te herijken. De schommelingen in de parameterwaarden zullen vermoedelijk vrij geleidelijk verlopen. Of in een concrete situatie de kwaliteit van de voorspellingen sterk beïnvloed kan worden door snelle schommelingen in één der parameters vormt een onderwerp van nadere studie.

Om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de gevonden waarden van de parameters is het schatten van de covariantiematrix ervan noodzakelijk. Met behulp van deze covariantiematrix kunnen betrouwbaarheidsintervallen voor de afvoervoorspellingen worden aangegeven.

De systeemtheorie is ook toe te passen voor het identificeren van de structuur van de transferfunctie tussen input- en outputreeksen. Deze transferfunctie komt dan in de plaats van het deterministische convectie-diffusie model. Bij deze aanpak wordt de hydraulica, in de vorm van de basisvergelijkingen (2.1) en (2.2) aanvankelijk geheel ter zijde geschoven. Een geïdentificeerde transferfunctie is naderhand echter vaak te interpreteren in termen van deze vergelijkingen. Zie voor een toepassing Keesman (1984).

LITERATUUR

1. AMBRUS, S., 1980. Proceed. of Oxford Symposium, IAHS Publ. 129, p. 359-369, Real-time forecasting of discharges of the River Danube using self-tuning predictor algorithms.
2. BECK, B.M. en VAN STRATEN, G. (eds.), 1983. "Uncertainty and Forecasting of Water Quality", IIASA, Laxenburg.
3. VAN BODEGOM, E.H., 1983. "A Study into some applications of the Kalman Filter in Hydrology and A modified Muskingum model attached to a Kalman Filter applied to the reach Wesel-Lobith, on the river Rhine". M.Sc.-thesis, Landbouwhogeschool Wageningen.
4. BOX, G.E.P. en G.M. JENKINS, 1970. "Time Series Analysis, Forecasting and Control", Holden-day, San Francisco.
5. CHIU, C.L. (ed.), 1978. "Application of Kalman Filter to Hydrology, Hydraulics and Water Resources". Dept. of Civil Engin., University of Pittsburgh.
6. DOOGE, J.C.I., 1973. "Linear Theory of Hydrologic Systems", Techn. Bulletin no. 1468, Agricultural Res. Service, U.S. Dept. of Agriculture.
7. GUTKNECHT, D. en R. KIRNBAUER, 1976. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 20, Heft 6, p. 146-150. Arima-Modelle zur Verbesserung der Ergebnisse eines Wellenablaufmodells.
8. HENDERSON, F.M., 1966. "Open Channel Flow", McMillan, New York.
9. JAZWINSKY, A.H., 1970. "Stochastic Processes and Filtering Theory", Ac. Press, New York.
10. KALININ, G.P. en P.I. MILYUKOV, 1957. Meteor. i Gidrol. Zhurnal, 10 On raschete nevstanovivshegosija dvizhenija vody v otkeretykh ruslakh.
11. KEESMAN, K., 1984. "Transfer Function-Noise Modellen in de Hydrologie", M.Sc.-thesis, Landbouwhogeschool Wageningen.

12. Mc CARTHY, G.T., 1939. "The Unit Hydrograph and Flood Routing", U.S. Corps of Engin.
13. MOLL, J.R., 1982. Nota 60 Vakgroep Hydraulica & Afvoerhydrologie, Wageningen, Eindige Differentie-methoden voor de oplossing van de convectie-diffusie vergelijking.
14. MOLL, J.R., 1984. In "Real-time River Flow Forecasting" (ed. Moll), Rapport 6 Vakgroep Hydraulica & Afvoerhydrologie, Wageningen, Short range flood forecasting on the river Rhine.
15. DE MOOR, J. en K. FRENKEN, 1980. "Analyse en vergelijking van diverse methodes voor de berekening van hoogwatergolven op rivieren", M.Sc.-thesis, Landbouwhogeschool Wageningen.
16. NERC, 1975. "Flood Studies Report Volume 3", Natural Environmental Research Council, London.
17. O'CONNELL, P.E., 1980. "Real-time Hydrological Forecasting and Control", Proc. of the 1st International Workshop, July 1977, Inst. of Hydrology, Wallingford U.K..
18. DE RONDE, J., 1984. In "Real-time River Flow Forecasting" (ed. Moll), Rapport 6, vakgroep Hydraulica & Afvoerhydrologie, Wageningen, The forecasting and warning system of 'Rijkswaterstaat' for the river Rhine.
19. SAINT VERANT, B, DE, 1871. C.R. Acad. Sci. Paris, 73, 148-154; 237-240, Theory of unsteady water flow with application to river floods and to propagation of tides in river channels.

APPENDIX 1 - BENEDENSTROOMSE RANDVOORWAARDE

Beschouw onderstaande Fig. A1.

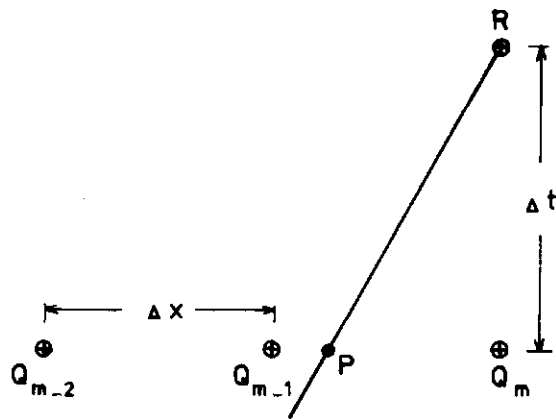


Fig. A1: Rechterraand van het rekenrooster.

Voor het verkrijgen van een schatting van het debiet Q in het punt $R \{m\Delta x, (n+1)\Delta t\}$ wordt gebruik gemaakt van de bekende waarden Q_{m-2} , Q_{m-1} en Q_m en het hulppunt P .

Het hulppunt P ligt op de karakteristiek door R , en heeft als coördinaten: $x = m\Delta x - c\Delta t$; $t = n\Delta t$.

De waarde van Q in P wordt gevonden door een tweede orde polynoombenadering uit Q_{m-2} , Q_{m-1} en Q_m :

$$Q(P) = \frac{Q_{m-2} + Q_m - 2Q_{m-1}}{2(\Delta x)^2} [m\Delta x - c\Delta t]^2 + \frac{Q_m(3-2m) + Q_{m-1}(4m-4) + Q_{m-2}(1-2m)}{2\Delta x} (m\Delta x - c\Delta t) + \frac{1}{2}(m-1)(m-2)Q_m - m(m-2)Q_{m-1} + \frac{1}{2}m(m-1)Q_{m-2} \quad (A1)$$

Langs de karakteristiek PQ geldt:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{D}{\partial x^2} Q \quad (A2)$$

hetgeen te benaderen is door:

$$\frac{Q(R) - Q(P)}{\Delta t} = D \cdot \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \Big|_{x = (m-1)\Delta x} \quad (A3)$$

waaruit tenslotte volgt:

$$\begin{aligned} Q_m^{n+1} &= Q_m^n \left(\frac{(m\Delta x - c\Delta t)^2 + 2D\Delta t}{2(\Delta x)^2} + \frac{(3-2m)(m\Delta x - c\Delta t)}{2\Delta x} + \frac{1}{2}(m-1)(m-2) \right) \\ &+ Q_{m-1}^n \left(-\frac{(m\Delta x - c\Delta t)^2 + 2D\Delta t}{(\Delta x)^2} + \frac{4(m-1)(m\Delta x - c\Delta t)}{2\Delta x} - m(m-2) \right) \\ &+ Q_{m-2}^n \left(\frac{(m\Delta x - c\Delta t)^2 + 2D\Delta t}{2(\Delta x)^2} + \frac{(1-2m)(m\Delta x - c\Delta t)}{2\Delta x} + \frac{1}{2}m(m-1) \right) \end{aligned} \quad (A4)$$

APPENDIX 2 - Programmatuur

Achtereenvolgens treft u de programma.listings aan:

1. BD.FOR - model voor sectie 3
2. DW.FOR - model voor sectie 2
3. WL.FOR - model voor sectie 1
4. BOXCP.FOR - constructie ARIMA-model
5. AUTO.FOR - tekenprogramma autocorrelogrammen
6. PLRIJN.FOR - tekenprogramma voorspellingen / metingen

BD.FOR

```

00100 C      DIT PROGRAMMA BEKENT SECTIE 3 DOOR : BONN-DUSSELDORF
00200 C      VAN HET TRAJEKT BONN-LOEITH.
00300 C      ZIE VOOR COMMENTAAR DE LISTING VAN HET ANALOGIE
00400 C      PROGRAMMA WL.FOR.
00500 C      DATUM : JULI 1984 : AUTEUR : J.R.MOLL
00600 CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
00700 DIMENSION X(7),XN(9),A(9,9),AI(9,9),WKAREA(9),Z(12),R(0:12)
00800 DIMENSION QDUSS(362),QBONN(362),QWUP(362),QSIEG(-1:362)
00900 DIMENSION FOR(362),UIS(362),ER(-3:362),DOWN(362),XD(9)
01000 DIMENSION E12(362),Y(362),E5(362)
01100 INTEGER IER
01200 OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QDUSS.DAT')
01300 READ(1,22)(QDUSS(I),I=1,360)
01400 22 FORMAT(10F)
01500 CLOSE(UNIT=1)
01600 OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QBONN.DAT')
01700 READ(1,22)(QBONN(I),I=1,360)
01800 CLOSE(UNIT=1)
01900 OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QSIEG.DAT')
02000 READ(1,22)(QSIEG(I),I=1,360)
02100 CLOSE(UNIT=1)
02200 OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QWUP.DAT')
02300 READ(1,22)(QWUP(I),I=1,360)
02400 C      DE INPUTDAT VOLTEN OMGEPEKEND NAAR DE JUISTE EENHEDEN
02500 DO 33 I=1,360
02600     QBONN(I)=QBONN(I)*10.
02700     QDUSS(I)=QDUSS(I)*10.
02800     QSIEG(I)=QSIEG(I)*10.
02900     QWUP(I)=QWUP(I)*10.
03000 33 CONTINUE
03100 C      STARTWAARDEN VOOR DE OUDE TOEVOER UIT DE SIEG
03200     N=9
03300 C      N IS HET AANTAL PLAATSTAPPEN IN DEZE SECTIE
03400     THETA=.55
03500     ALEN=100000.
03600     TIME=0.0000.
03700     DELT=TIME/5.
03800     DELX=ALEN/N
03900     C=2.0
04000     D=25000.
04100     CS=C*DELT/DELX
04200     DS=D*DELT/(DELX*DELX)
04300     OPEN(UNIT=20,ACCESS='SEQOUT',FILE='BD.OUT')
04400     ALFA=1/5.-THETA*(CS/2.+DS)
04500     BETA=2/3.+2.*THETA*DS
04600     GAMMA=1/5.+THETA*(CS/2.-DS)
04700     DELTA=1/6.+(1-THETA)*(CS/2.+DS)
04800     EPS=2/3.-2.*(1-THETA)*DS
04900     ZETA=1/6.+(1-THETA)*(-CS/2.+DS)
05000 C      NU VOLGT HET UITTREKKEN VAN DE TOESTANDSOVERGANGSMATRIX
05100     DO 5 K=1,N
05200     DO 5 L=1,N
05300     A(K,L)=0.
05400 5 CONTINUE
05500     DO 1 I=2,N-1
05600     A(I,I-1)=ALFA
05700     A(I,I)=BETA
05800     A(I,I+1)=GAMMA
05900 1 CONTINUE
06000     A(1,1)=ZETA

```

```

06100      A(1,2)=64NMA
06200      A(N,N)=1.
06300      CALL LINVIF(A,N,N,AI,0,KKAREA,IER)
06400      IF(1ER.NE.0)GO TO 99
06500      N1=N*DELX-C*DELT
06600      H2=H1*H1
06700      H3=(H2+D*2.*DELT)/(2.*DELX*DELX)
06800      H4=H1/(2.*DELX)
06900      Z1=H3+(1.-2*N)*H1+N*(N-1)*.5
07000      Z2=-2.*H3+4.*(N-1)*H4-N*(N-2)*1.
07100      Z3=H3+(3.-2.*N)*H4+(N-1)*(N-2)*.5
07200      DO 34 I=1,N
07300      Z(I)=QBONN(1)
07400      H(I)=QBONN(1)
07500      34 CONTINUE
07600      H(0)=QBONN(1)
07700      DO 61 I=1,N
07800      X(I)=H(0)*(N-1-I)/(N-1)+QDUSS(1)*I/(N-1)
07900      61 CONTINUE
08000      C      NA DE VOORBEREIDINGEN VOLGT HIER DE DOORREKENLOOP
08100      DO 10 L1=2,359
08200      DO 35 I=1,N
08300      X0(I)=X(I)
08400      35 CONTINUE
08500      H(12)=1.60*Z(1)-.50*Z(5)+.44*E12(L1-1)
08600      Z12(L1+3)=QBONN(L1+3)-H(12)
08700      H(9)=1.71*Z(1)-.71*Z(4)+.53*E9(L1-1)
08800      E9(L1+2)=QBONN(L1+2)-H(9)
08900      H(11)=2/3.*H(12)+1/3.*H(9)
09000      H(10)=1/3.*H(12)+2/3.*H(9)
09100      H(6)=1.81*Z(1)-.81*Z(3)+.42*E6(L1-1)
09200      E6(L1+1)=QBONN(L1+1)-H(6)
09300      H(7)=2/3.*H(6)+1/3.*H(9)
09400      H(8)=1/3.*H(6)+2/3.*H(9)
09500      H(3)=1.92*Z(1)-.92*Z(2)
09600      H(5)=2/3.*H(8)+1/3.*H(3)
09700      H(4)=1/3.*H(8)+2/3.*H(3)
09800      H(0)=QBONN(L1-1)
09900      H(2)=2/3.*H(3)+1/3.*H(0)
10000      H(1)=1/3.*H(3)+2/3.*H(0)
10100      DO 9 L2=1,6
10200      X(5)=X(5)+44UP(L1-1)
10300      X(1)=X(1)+981LS(L1-1)
10400      DO 3 I=2,N-1
10500      XN(1)=DELTA*X(I-1)+EPS*X(I)+DZETA*X(I+1)
10600      3 CONTINUE
10700      XN(1)=DELTA*H(L2-1)-ALFA*H(L2)+EPS*X(1)+DZETA*X(2)
10800      XN(N)=Z1*X(N-2)+Z2*X(N-1)+Z3*X(N)
10900      DO 4 I=1,N
11000      X(I)=0.
11100      DO 5 K=1,N
11200      X(I)=X(I)+AI(I,K)*XN(K)
11300      5 CONTINUE
11400      4 CONTINUE
11500      9 CONTINUE
11600      DOWN(L1+1)=X(N-1)
11700      DO 36 I=6,2,-1
11800      Z(I)=Z(I-1)
11900      36 CONTINUE
12000      Z(1)=QBONN(L1)

```

```

12100      DO 56 I=1,N
12200      X(I)=XJ(I)
12300      56 CONTINUE
12400      H(0)=QDOWN(L1)
12500      H(2)=2/3.*H(0)+1/3.*H(0)
12600      H(1)=2/3.*H(0)+1/3.*H(0)
12700      DO 57 L2=1,3
12800      X(5)=X(5)+QUP(L2-1)
12900      X(1)=X(1)+QDOWN(L2-1)
13000      DO 58 I=2,N-1
13100      XN(I)=DELTA*X(I-1)+EPS*X(I)+DZETA*X(I+1)
13200      58 CONTINUE
13300      XN(1)=DELTA*X(L2-1)-ALFA*X(L2)+EPS*X(1)+DZETA*X(2)
13400      XN(N)=Z1*X(N-2)+Z2*X(N-1)+Z3*X(N)
13500      DO 59 I=1,N
13600      X(I)=0.
13700      DO 60 K=1,N
13800      X(I)=X(I)+4I(1,K)*XN(K)
13900      60 CONTINUE
14000      59 CONTINUE
14100      57 CONTINUE
14200      10 CONTINUE
14300      DO 44 I=3,360
14400      ER(I)=QDOWN(I)-DOWN(1)
14500      IF((I/2)*2.NE.1) GO TO 44
14600      QUIS(I/2+1)=1/2*(1)-.73*ER(I-2)-29.7
14700      44 CONTINUE
14800      CALL DETRES(QUIS,15,1)
14900      99 WRITE(20,300) 159
15000      300 FORMAT('1ER = ',I4)
15100      STOP
15200      END
15300      SUBROUTINE DETRES(ER,N)
15400      C      DEZE SUBROUTINE ANALYSEERT DE VOORSPELFOUTEN
15500      C      EN VERDORGT DE UITVOER
15600      DIMENSION ER(360)
15700      INTEGER N
15800      DIMENSION ACV(15),AL(15),PACV(15),WKAREA(15)
15900      DO 200 I=1,N-2
16000      ER(I)=ER(I+2)
16100      200 CONTINUE
16200      WRITE(20,400)(ER(I),I=1,N-2)
16300      400 FORMAT(10(F7.2,X))
16400      CALL FTAUTO(ER,N-2,15,15,7,AMEAN,VAR,ACV,AL,PACV,WKAREA)
16500      WRITE(20,500)AMEAN,VAR
16600      500 FORMAT('AMEAN = ',F7.1,5X,'VAR = ',F9.1)
16700      WRITE(20,600)
16800      600 FORMAT('AUTOCORRELATIEFUNKTIE',2X,'PART. AUTOCORRELATIE -
16900      WRITE(20,700)((I,AC(I),PACV(I)),I=1,15)          FUNKTIE')
17000      700 FORMAT(' K = ',I4,5X,'AC = ',F5.2,5X,'PACV = ',F5.2)
17100      RETURN
17200      END

```

DW.FOR

```

00050 C      DIT PROGRAMMA REKENT SECTIE 2 DOOR VAN HET TRAJEKT
00060 C      BONN-LBBITH,T.W: DUSSELDORF-WESSEL.
00070 C      ZIE VOIR COMMENTAAR OP HET PROGRAMMA DE LISTING
00080 C      VAN HET ANALOGE PROGRAMMA WL.FOR
00090 C      DATUM : JULI 1984 . AUTEUR : J.P.MOLL
00095 C      CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
00100      DIMENSION X(7),XN(7),A(7,7),AI(7,7),WKAREA(7),Z(12),H(0:12)
00200      DIMENSION QDUSS(360),QWESSEL(360),QLIPPE(360),QRUHR(-1:360)
00300      DIMENSION FOR(362),RUIO(362),EP(-3:362),DOWN(362),XN(7)
00400      DIMENSION FORDUS(360),FORD24(360)
00500      INTEGER IER
00600      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QDUSS.DAT')
00700      READ(1,22)(QDUSS(I),I=1,360)
00800      22 - FORMAT(10F)
00900      CLOSE(UNIT=1)
01000      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QWESSEL.DAT')
01100      READ(1,11)(QWESSEL(I),I=1,360)
01200      11 - FORMAT(12F)
01300      CLOSE (UNIT=1)
01400      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QRUHR.DAT')
01500      READ(1,22)(QRUHR(I),I=1,360)
01600      CLOSE(UNIT=1)
01700      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QLIPPE.DAT')
01800      READ(1,22)(QLIPPE(I),I=1,360)
01900      CLIST(UNIT=1)
02000      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='FORDUS.12')
02100      READ(1,22)(FORDUS(I),I=1,360)
02200      CLOSE(UNIT=1)
02300      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='FORDUS.24')
02400      READ(1,22)(FORD24(I),I=1,360)
02500      CLOSE(UNIT=1)
02600 C      DE INPUTDAT MOETEN OMGEREKEND NAAR DE JUISTE EENHEDEN
02700      DO 23 I=1,360
02800      QWESSEL(I)=QWESSEL(I)*10.
02900      QDUSS(I)=QDUSS(I)*10.
03000      QRUHR(I)=QRUHR(I)*10.
03100      QLIPPE(I)=QLIPPE(I)*10.
03200      23 - CONTINUE
03300 C      STARTWAARDEN VOOR DE OUDE TOEVDER UIT DE RUHR
03400      QRUHR(-1)=QRUHR(1)
03500      QRUHR(0)=QRUHR(1)
03600      N=7
03700 C      N IS HET AANTAL PLAATSTAPPEN IN DEZE SECTIE
03800      THETA=.55
03900      ALFN=81667.
04000      TIME=36000.
04100      DELT=TIME/5.
04200      DELX=ALFN/N
04300      C=2.1
04400      D=10000.
04500      CS=C*DELT/DELX
04600      DS=D*DELT/(DELX*DELX)
04700      OPEN(UNIT=20,ACCESS='SEQOUT',FILE='DW.OUT')
04800      ALFA=1/6.-THETA*(CS/2.+DS)
04900      BETA=2/3.+2.*THETA*CS
05000      GAMMA=1/6.+THETA*(CS/2.-DS)
05100      DELTA=1/6.+(1-THETA)*(CS/2.+DS)
05200      EPS=2/3.-2.*(1-THETA)*DS
05300      DZETA=1/6.+(1-THETA)*(-CS/2.+DS)
05400 C      NU VOLGT HET UITREKENEN VAN DE TOESTANDSEVERGANGSMATRIX

```

```

05500      DO 6 K=1,N
05600      DO 6 L=1,N
05700      A(K,L)=0.
05800      6 CONTINUE
05900      DO 1 I=2,N-1
06000      A(I,I-1)=ALFA
06100      A(I,I)=BETA
06200      A(I,I+1)=GAMMA
06300      1 CONTINUE
06400      A(1,1)=BETA
06500      A(1,2)=GAMMA
06600      A(N,N)=1.
06700      CALL LINVIF(A,N,N,AI,C,WKAREA,IFR)
06800      IF(IFR.NE.0)GO TO 99
06900      H1=N*DELX-C*DELX
07000      H2=H1*H1
07100      H3=(H2+D*2.*DELX)/(2.*DELX*DELX)
07200      H4=H1/(2.*DELX)
07300      Z1=H3+(1.-2.*N)*H4+N*(N-1)*.5
07400      Z2=-2.*H3+4.*(N-1)*H4-N*(N-2)*1.
07500      Z3=H3+(3.-2.*N)*H4+(N-1)*(N-2)*.5
07600      DO 34 I=1,6
07700      Z(I)=QZUSS(1)
07800      H(I)=QZUSS(1)
07900      34 CONTINUE
08000      H(0)=QZUSS(1)
08100      DO 61 I=1,N
08200      X(I)=H(0)*(N-1-I)/(N-1)+QWESEL(1)*I/(N-1)
08300      61 CONTINUE
08400      C NA DE VOORBEREIDINGEN VOLGT HIER DE DOORREKENLOOP
08500      DO 10 L1=2,357
08600      DO 35 I=1,N
08700      XC(I)=X(I)
08800      35 CONTINUE
08900      H(6)=FIRBUS(L1+1)
09000      H(12)=FIRB24(L1+3)
09100      H(11)=5/6.*H(12)+1/6.*H(6)
09200      H(10)=2/3.*H(12)+1/3.*H(6)
09300      H(9)=1/2.*H(12)+1/2.*H(6)
09400      H(8)=1/3.*H(12)+2/3.*H(6)
09500      H(7)=1/6.*H(12)+5/6.*H(6)
09600      H(0)=QZUSS(L1-1)
09700      H(3)=H(6)/2.+H(0)/2.
09800      H(5)=2/3.*H(6)+1/3.*H(3)
09900      H(4)=1/3.*H(6)+2/3.*H(3)
10000      H(2)=2/3.*H(3)+1/3.*H(0)
10100      H(1)=1/3.*H(3)+2/3.*H(0)
10200      DO 9 L2=1,12
10300      X(5)=X(5)+QLIPPE(L1-1)
10400      X(3)=X(3)+QRUHR(L1-3)
10500      DO 3 I=2,N-1
10600      XN(I)=DELTA*X(I-1)+EPS*X(I)+DZETA*X(I+1)
10700      3 CONTINUE
10800      XN(1)=DELTA*X(L2-1)-ALFA*X(L2)+EPS*X(1)+DZETA*X(2)
10900      XN(N)=Z1*X(N-2)+Z2*X(N-1)+Z3*X(N)
11000      DO 4 I=1,N
11100      X(I)=0.
11200      DO 5 K=1,N
11300      X(I)=X(I)+AI(I,K)*XN(K)
11400      5 CONTINUE

```

```

11500      4  CONTINUE
11600      9  CONTINUE
11700      DOWN(L1+3)=X(N-1)
11800      DO 36 I=6,2,-1
11900      Z(I)=Z(I-1)
12000      36  CONTINUE
12100      Z(1)=QDUSS(L1)
12200      DO 56 I=1,N
12300      X(I)=X(I)
12400      56  CONTINUE
12500      H(I)=QDUSS(L1)
12600      H(2)=2/3.*H(3)+1/3.*H(0)
12700      H(1)=2/3.*H(0)+1/3.*H(3)
12800      DO 57 L2=1,3
12900      X(5)=X(5)+QLIPPE(L1-1)
13000      X(3)=X(3)+GRUHR(L1-3)
13100      DO 58 I=2,N-1
13200      XN(I)=DELTA*X(I-1)+EPS*X(I)+DZETA*X(I+1)
13300      58  CONTINUE
13400      XN(1)=DELTA*H(L2-1)-ALFA*H(L2)+EPS*X(1)+DZETA*X(2)
13500      XN(N)=I1*X(N-2)+I2*X(N-1)+I3*X(N)
13600      DO 59 I=1,4
13700      X(I)=0.
13800      DO 60 K=1,4
13900      X(I)=X(I)+AI(I,K)*XN(K)
14000      60  CONTINUE
14100      59  CONTINUE
14200      57  CONTINUE
14300      10  CONTINUE
14400      DO 44 I=5,360
14500      ER(I)=WESEL(I)-DOWN(I)
14600      IF((I/4)*4.NE.I)-GB TO 44
14700      RUIS(I/4+1)=ER(I)-.55*ER(I-4)-B.
14800      44  CONTINUE
14900      CALL DETRES(RUIS,91)
15000      99  WRITE(20,300) IFR
15100      300  FORMAT('IFR = ',I4)
15200      STOP
15300      END
15400      SUBROUTINE DETRES(ER,N)
15500      C      DEZE SUBROUTINE ANALYSEERT DE VTOERSPELEEDUTEN
15600      C      EN VERZORGT DE UITVOER
15700      DIMENSION ER(362)
15800      INTEGER N
15900      DIMENSION ACV(15),AC(15),PACV(15),WKAREA(15)
16000      DO 200 I=1,N-2
16100      ER(I)=ER(I+2)
16200      200  CONTINUE
16300      WRITE(20,400)(ER(I),I=1,N-2)
16400      400  FORMAT(10(F8.2,X))
16500      CALL FTAUTE(ER,N-2,15,15,7,AMEAN,VAR,ACV,AC,PACV,WKAREA)
16600      WRITE(20,500) AMEAN,VAR
16700      500  FORMAT('AMEAN = ',F8.1,5X,'VAR = ',F9.1)
16800      WRITE(20,600)
16900      600  FORMAT('AUTOCORRELATIEFUNKTIE',2X,'PART. AUTOCORRELATIE-
17000      WRITE(20,700)((I,AC(I),PACV(I)),I=1,15)      FUNKTIE')
17100      700  FORMAT(' K = ',I2,5X,'AC = ',F5.2,5X,'PACV = ',F5.2)
17200      RETURN
17300      END

```


WL.FOR

```

00100 C      DIT PROGRAMMA BEREKENT AFDERVOORSPELLINGEN VOOR LORITH.
00200 C      ER WORDT GEBRUIK GEMAAKT VAN DE CONVECTIE-DIFFUSIE
00300 C      VERGELIJKING ALS HYDROLOGISCH VOORSPELLINGSMODEL.
00400 C      DEZE VERGELIJKING WORDT NUMERIEK OPGELOST MET HET
00500 C      STONE&BRIAN-SCHEMA EN EEN DOORLATENDE BENEDENSTROOMSE
00600 C      RANDVOORWAARDE.
00700 C      DE VOORSPELLINGEN WORDEN VERBETERD MET EEN STOCHASTISCH
00800 C      ARIMA-MODEL.
00900 C      HET TRAJEKT BONN-LORITH IS OPGESPLITST IN 3 SECTIES :
01000 C      SECTIE 1 : WESEL-LORITH(WL.FOR) ;SECTIE 2 : DUSSELDORF-
01100 C      WESEL(DW.FOR) ;SECTIE 3 : BONN-DUSSELDORF(BD.FOR).
01200 C      DATUM : JULI 1994 .AUTEUR : J.P.MOLL
01300 C      CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
01400 C      DIMENSION X(5),XN(5),A(5,5),AI(5,5),WKAREA(5),I(12),M(0:12)
01500 C      DIMENSION QWESEL(360),QLORIT(360),WESFOR(360),WES24(360)
01600 C      DIMENSION FOR(362),RUIS(362),FP(-3:362),DOWN(362),XD(5)
01700 C      INTEGER IER
01800 C      CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
01900 C      X,XD EN XN BEVATTEN DE 3 OP ROOSTERPUNTEN
02000 C      A EN AI BEVATTEN DE TOESTANDSOVERGANGSMATRIX EN DE INVERSE
02100 C      WKAREA IS KLADDERIED
02200 C      I BEVAT GEFUGEN VAN QWESEL TRV INPUTVOORSPELLING
02300 C      H BEVAT VOORSPELLINGEN VAN DE INPUT
02400 C      FOR BEVAT DE DEFINITIEVE FORECASTS
02500 C      DOWN BEVAT DE OUTPUT VAN HET DETERMINISTISCH MODEL
02600 C      ER BEVAT DE RESIDUEN : HETINGEN - DET. VOORSPELLINGEN
02700 C      RUIS BEVAT DE WITTE RUIS WAARTOE 'ER' AFGEPROKEN WORDT
02800 C      IER IS EEN WAARSCHUWINGSVARIABLE VOOR GEBRUIK
02900 C      VAN SUBROUTINES UIT HET INSL-PAKKET
03000 C      CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
03100 C      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QWESEL.DAT')
03200 C      READ(1,22)(QWESEL(I),I=1,360)
03300 C      22  FORMAT(12F)
03400 C      CLOSE(UNIT=1)
03500 C      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='QLORIT.DAT')
03600 C      READ(1,11)(QLORIT(I),I=1,360)
03700 C      11  FORMAT(10F)
03800 C      CLOSE(UNIT=1)
03900 C      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='FORWES.12')
04000 C      READ(1,11)(WESFOR(I),I=1,360)
04100 C      CLOSE(UNIT=1)
04200 C      OPEN(UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='FORWES.24')
04300 C      READ(1,11)(WES24(I),I=1,360)
04400 C      DE INPUTDATA MOETEN OMGEREKEND NAAR DE JUISTE EENHEDEN
04500 C      DO 30 I=1,360
04600 C      QLORIT(I)=QLORIT(I)*10.
04700 C      QWESEL(I)=QWESEL(I)*10.
04800 C      30  CONTINUE
04900 C      N=5
05000 C      N IS HET AANTAL PLAATSTAPPEN IN DEZE SECTIE
05100 C      THETA=.55
05200 C      ALN=60250.
05300 C      TIME=36000.
05400 C      DELT=TIME/5.
05500 C      DELX=ALN/N
05600 C      C EN D ZIJN DE GECALIBREERDE PARAMETERS
05700 C      C=1.1
05800 C      D=40000.
05900 C      CC=C*DELT/DELX
06000 C      DS=D*DELT/(DELX*DELX)

```

```

06100      OPEN(UNIT=20,ACCESS='SEQUENT',FILE='WL.OUT')
06200      ALFA=1/6.-THETA*(CS/2.+DS)
06300      BETA=2/3.+2.*THETA*DS
06400      GAMMA=1/6.+THETA*(CS/2.-DS)
06500      DELTA=1/6.+(1-THETA)*(CS/2.+DS)
06600      EPS=2/3.-2.*(1-THETA)*DS
06700      DZETA=1/6.+(1-THETA)*(-CS/2.+DS)
06800      C-  NU VLG T HET UITPEKENEN VAN DE TOESTANDSOVERGANGSMATRIX
06900      DO 6 K=1,N
07000      DO 6 L=1,N
07100      A(K,L)=0.
07200      6-  CONTINUE
07300      DO 1 I=2,N-1
07400      A(I,I-1)=ALFA
07500      A(I,I)=BETA
07600      A(I,I+1)=GAMMA
07700      1-  CONTINUE
07800      A(1,1)=BETA
07900      A(1,2)=GAMMA
08000      A(N,N)=1.
08100      CALL LINV1FCA,N,N,AI,0,WKAREA,IFR)
08200      IF(IEP.NE.0)GO TO 99
08300      C-  NU VOLGEN DAT BEREKENINGEN VOOR DE BENEDENSTROOMSE RAND
08400      H1=N*DELX-C*DELT
08500      H2=H1*H1
08600      H3=(H2+D*2.*DELT)/(2.*DELX*DELX)
08700      H4=H1/(2.*DELX)
08800      Z1=H3+(1.-2*N)*H4+N*(N-1)*.5
08900      Z2=-2.*H3+4.*(N-1)*H4-N*(N-2)*1.
09000      Z3=H3+(3.-2.*N)*H4+(N-1)*(N-2)*.5
09100      DO 34 I=1,6
09200      Z(I)=QWESSEL(1)
09300      H(I)=QWESSEL(1)
09400      34-  CONTINUE
09500      H(0)=QWESSEL(1)
09600      DO 61 I=1,N
09700      X(I)=H(0)*(N-1-I)/(N-1)+QLOBIT(1)*I/(N-1)
09800      61-  CONTINUE
09900      C-  TOT ZOVER DE VOORBEREIDINGEN;NU DE GROTE REKENLOOP
10000      DO 10 L1=2,359
10100      DO 35 I=1,N
10200      XN(I)=X(I)
10300      35-  CONTINUE
10400      H(12)=WES24(L1+3)
10500      H(6)=WESFOR(L1+1)
10600      H(7)=5/6.*H(6)+1/6.*H(12)
10700      H(8)=4/6.*H(6)+2/6.*H(12)
10800      H(9)=3/6.*H(6)+3/6.*H(12)
10900      H(10)=2/6.*H(6)+4/6.*H(12)
11000      H(11)=1/6.*H(6)+5/6.*H(12)
11100      H(3)=(WESFOR(L1+1)+QWESSEL(L1-1))/2.
11200      H(5)=2/3.*H(6)+1/3.*H(3)
11300      H(4)=1/3.*H(6)+2/3.*H(3)
11400      H(0)=QWESSEL(L1-1)
11500      H(2)=2/3.*H(3)+1/3.*H(0)
11600      H(1)=1/3.*H(3)+2/3.*H(0)
11700      C-  L2 GEEFT HET AANTAL TIJDSTAPPEN VOORUIT AAN VAN TWEE UUR
11800      DO 9 L2=1,6
11900      DO 3 I=2,N-1
12000      XN(I)=DELTA*X(I-1)+EPS*X(I)+DZETA*X(I+1)

```

```

12100      2      CONTINUE
12200      XN(1)=DELTA*H(L2-1)-ALFA*H(L2)+EPS*X(1)+DZETA*X(2)
12300      XN(N)=I1*X(N-2)+I2*X(N-1)+I3*X(N)
12400      DO 4 I=1,N
12500      X(I)=0.
12600      DO 5 K=1,N
12700      X(I)=X(I)+AI(I,K)*XN(K)
12800      5      CONTINUE
12900      4      CONTINUE
13000      9      CONTINUE
13100      DOWN(L1+1)=X(N-1)
13200      DO 36 I=6,2,-1
13300      Z(I)=Z(I-1)
13400      36      CONTINUE
13500      Z(1)=ZWESEL(L1)
13600      DO 56 I=1,N
13700      X(I)=X(I)
13800      56      CONTINUE
13900      C      NA DUTVANGST NIEUWE METING UPSTREAM NU UPDATE
14000      H(3)=ZWESEL(L1)
14100      H(2)=2/3.*H(0)+1/3.*H(0)
14200      H(1)=2/3.*H(0)+1/3.*H(3)
14300      DO 57 L2=1,3
14400      DO 58 I=2,N-1
14500      XN(I)=DELTA*X(I-1)+EPS*X(I)+DZETA*X(I+1)
14600      58      CONTINUE
14700      XN(1)=DELTA*H(L2-1)-ALFA*H(L2)+EPS*X(1)+DZETA*X(2)
14800      XN(N)=I1*X(N-2)+I2*X(N-1)+I3*X(N)
14900      DO 59 I=1,N
15000      X(I)=0.
15100      DO 60 K=1,N
15200      X(I)=X(I)+AI(I,K)*XN(K)
15300      60      CONTINUE
15400      59      CONTINUE
15500      57      CONTINUE
15600      10      CONTINUE
15700      DO 44 I=3,360
15800      ER(I)=GLOBIT(I)-DOWN(I)
15900      IF((I/2)*2.NE.I) GO TO 44
16000      RUIS(I/2+1)=ER(I)
16100      44      CONTINUE
16200      CALL DETRES(RUIS,191)
16300      99      WRITE(20,200) IFF
16400      300      FORMAT('IER = ',I4)
16500      STOP
16600      END
16700      SUBROUTINE DETRES(ER,N)
16800      C      DEZE ROUTINE ANALYSEERT DE VOORSPELINGEN.
16900      DIMENSION ER(362)
17000      INTEGER N
17100      DIMENSION ACV(20),AC(20),PACV(20),WKAREA(20)
17200      DO 200 I=1,N-2
17300      ER(I)=ER(I+2)
17400      200      CONTINUE
17500      WRITE(20,400)(ER(I),I=1,N-2)
17600      400      FORMAT(10(F7.2,X))
17700      CALL FTAUTOC(ER,N-2,20,20,7,AMEAN,VAR,ACV,AC,PACV,WKAREA)
17800      WRITE(20,500)AMEAN,VAR
17900      500      FORMAT('AMEAN = ',F7.1,5X,'VAR = ',F8.1)
18000      WRITE(20,600)

```

```
18100      600      FORMAT('AUTOCORRELATIEFUNKTIE',2X,'PART. AUTOCORRELATIE-  
18200      WRITE(20,700)((I,AC(I),PACV(I)),I=1,20)      FUNKTIE')  
18300      700      FORMAT(' K = ',I2,5X,'AC = ',F5.2,5X,'PACV = ',F5.2)  
18400      RETURN  
18500      END
```

BOXCP.FOR

```
00100 C      DIT IS EEN BOX&JENKINS UNIVARIAAT TIME SERIES ANALYSIS
00200 C      PROGRAMMA.
00300 C      ER WORDT GEBRUIK GEMAAKT VAN DE IMSL SUBROUTINE FTCP.
00400 C      ZIE VOOR COMMENTAAR OP HET PROGRAMMA DE IMSL-MANUAL
00500 C      AUTEUR : ROELOF MOLL      DATUM: 9 FEBRUARI 1983
00600 DE TIJDREKS WORDT INGELEZEN VAN DE FILE QWESEL.DAT
00700 DEZE WORDT IN LOOP 10 EVT. GEZEefd
00800      INTEGER IND(10), IER
00900      REAL X(120), ALPHA(2), ARPS(4), PMAS(4), PMAC, WNV, WK(272)
01000      1      , FCST(3,4), SIM(8)
01100      DOUBLE PRECISION DSEED
01200      OPEN(UNIT=1, ACCESS='SEQIN', FILE='QWESEL.DAT')
01300      READ(1,100)(X(I), I=1,120)
01400      DO 10 I=1,60
01500      X(I)=X(2*I-1)
01600      10      CONTINUE
01700      100     FORMAT(12(F4.0,X))
01800      CLOSE(UNIT=1)
01900      OPEN(UNIT=20, ACCESS='SEQOUT', FILE='RESBOX.DAT')
02000      IND(1)=60
02100      IND(2)=1
02200      IND(3)=0
02300      IND(4)=2
02400      IND(5)=25
02500      IND(6)=3
02600      IND(7)=2
02700      IND(8)=2
02800      IND(9)=4
02900      IND(10)=0
03000      DSEED=123567.D0
03100      ALPHA(1)=.05
03200      ALPHA(2)=.1
03300      CALL FTCP(X, IND, DSEED, ALPHA, ARPS, PMAS, PMAC, WNV,
03400      1      FCST, SIM, WK, IER)
03500      WRITE(20,1)
03600      1      FORMAT(X, 'AR MA DIF')
03700      WRITE(20,2)(IND(I), I=2,4)
03800      2      FORMAT(2X, 3(I1,2X))
03900      WRITE(20,3) ALPHA(1)
04000      3      FORMAT(X, 'SIGNIFICANCE = ', F4.2)
04100      WRITE(20,4)(ARPS(I), I=1,4)
04200      4      FORMAT(X, 'AR PARMS ', 4(F6.2,2X))
04300      WRITE(20,5)(PMAS(I), I=1,4)
04400      5      FORMAT(X, 'MA PARMS ', 4(F6.2,2X))
04500      WRITE(20,6) PMAC
04600      6      FORMAT(X, 'PMAC = ', F4.2)
04700      WRITE(20,7) WNV
04800      7      FORMAT(X, 'WHITE NOISE VARIANCE = ', F6.2)
04900      WRITE(20,8)((FCST(I,J), J=1,4), I=1,3)
05000      8      FORMAT(X, 4(F6.2,2X))
05100      WRITE(20,9) IER
05200      9      FORMAT(X, 'IER = ', I3)
05300      END
```

AUTO.FOR

```
00100  DIT IS EEN PROGRAMMA VOOR HET TEKENEN VAN AUTOCORRELOGRAMMEN
00200  DE TE TEKENEN PUNTEN WORDEN GELEZEN VAN DE FILE DW.OUT,
00300  DIE BESTAAT UIT 20 RIJEN [I,R(I),PACV(I)]
00400  ER WORDT GEBRUIK GEMAAKT VAN HET KOMPLOT-TEKENPAKKET
00500  DATUM: JUNI 1984  AUTEUR: RDELOF MOLL
00600      DIMENSION IX(40),Y(40),X(40)
00700      OPEN (UNIT=1,ACCESS='SEQIN',FILE='DW.OUT')
00800      READ(1,100)(IX(I),Y(I),X(I),I=1,39,2)
00900      100  FORMAT(I,2F)
01000      CLOSE(UNIT=1)
01100      DO 1 I=2,40,2
01200      X(I-1)=IX(I-1)*1.0
01300      IX(I)=IX(I-1)
01400      X(I)=IX(I)*1.0
01500      1  CONTINUE
01600      CALL FRAME(10.,0.,0.,10.,-1.,1.,'TIME [12 HRS];',
01700      1  'R;', 'AUTOCORRELATION 2B ;')
01800      CALL GRAPH(40,X,Y,0.0,6,0,'WESEL 1970;')
01900      STOP
02000      END
```

PLR'JN.FOR

```
00050  DIT IS EEN EENVOUDIG TEKENPROGRAMMA, DAT VOORSPELLINGEN
00060  TEGEN METINGEN UITZET, ER WORDT GEBRUIK GEMAAKT VAN HET
00070  PLOTPROGRAMMA KOMPLOT.
00100  DIMENSION X(360), Y(360), Z(360)
00200  OPEN(UNIT=1, ACCESS='SEQIN', FILE='QWESEL.DAT')
00300  READ(1, 200) (Y(I), I=1, 360)
00400      200  FORMAT(12F)
00500      100  FORMAT(10F)
00600  CLOSE(UNIT=1)
00700  OPEN(UNIT=1, ACCESS='SEQIN', FILE='FORWES.12')
00800  READ(1, 100) (Z(I), I=1, 360)
00900  DO 1 I=1, 240
01000  Z(I)=Z(120+I)
01100  Y(I)=10.*Y(120+I)
01200  X(I)=I*.25
01300      1  CONTINUE
01400  CALL FRAME(20., 0., 0., 13., 0., 0., 'TIJD [DAGEN];',
01500      1  'AFVOER [M**3/SEC];', '*31 JAN - 21 MRT 1970;')
01600  CALL GRAPH(200, X, Y, 0.0, 2.0, 'METINGEN WESEL;')
01700  CALL GRAPH(200, X, Z, 0.0, 0.4, '12 UURS VOORSPELLINGEN;')
01800  STOP
01900  END
```